ENDEAVOUR

Revue trimestrielle destinée à tenir registre du progrès
des sciences au service du genre humain

VOLUME XVI Juillet 1957 NUMÉRO 63

SOMMAIRE

070.432:550(100)'1957/58'
Article de Tête: L'Année Géophysique Internationale a commencé 123

577.15:576.34
La régulation des transformations métaboliques — H. A. KREBS, M.A., M.D., F.R.S. — 125

92:54:413
Le premier lexicographe de la chimie: P.-J. Macquer — DOUGLAS McKIE, Ph.D., D.Sc. — 133

591.463.1:599
Les spermatozoïdes des mammifères — M. W. H. BISHOP, M.A., Ph.D., Dip. Agric. Sci., et C. R. AUSTIN, D.Sc., B.V.Sc. — 137

538.245
Les domaines ferromagnétiques — L. F. BATES, B.Sc., Ph.D., D.Sc., F.R.S. — 151

581.143:547.757
L'acide gibberellique — P. W. BRIAN, Ph.D., Sc.D., et JOHN FREDERICK GROVE, B.Sc. — 161

049.3
Revue des livres 172

Brèves notices bibliographiques 179

Notes biographiques sur les collaborateurs 180

Livres reçus .. .. Couverture III

Rédacteur en chef: TREVOR I. WILLIAMS, M.A., B.Sc., D.Phil., F.R.I.C.
(*Pour les éditions étrangères:* G. N. J. BECK, B.Sc., A.M.I.E.E.)

Imperial Chemical Industries Limited, Millbank, Londres, S.W.1
Prière d'adresser toute correspondance à la rédaction, North Block, Thames House, Millbank, Londres, S.W.1

L'Année Géophysique Internationale a commencé

Cinquante-six nations participent à l'Année Géophysique Internationale, vaste entreprise qui a pour objet de s'attaquer à de nombreux problèmes relatifs à la science du globe et dont la solution exige que des observations soient effectuées simultanément dans le monde entier. Les préparatifs sont achevés et les travaux ont commencé officiellement le 1er juillet 1957, bien que des essais d'observation aient eu lieu auparavant dans la plupart des stations pour s'assurer du bon fonctionnement de tout le matériel et de la compétence des observateurs à se servir des techniques prévues.

Le Conseil International des Unions Scientifiques a confié la mise au point du programme de l'A.G.I. à un Comité Spécial (le C.S.A.G.I.). Après une réunion préliminaire à Bruxelles en 1953, le Comité a tenu des sessions plénières à Rome en 1954, à Bruxelles en 1955, à Barcelone en 1956. Lors des deux dernières sessions un Comité Consultatif se réunit également, composé d'un délégué de chaque nation participante. D'autre part, dans chaque pays participant, un Comité National a été nommé pour déterminer la part que prendra le pays en cause au programme. A la suite de récents échanges de vues certains pays ont modifié leurs dispositions, et il en est résulté une meilleure répartition des postes d'observation. On a tenu aussi des conférences régionales pour régler des questions intéressant particulièrement certaines zones. Il y eut notamment trois conférences sur l'Antarctique et une conférence sur chacune des régions suivantes: l'Arctique, l'hémisphère occidental, l'Europe orientale, et le Pacifique occidental.

L'Antarctique sera l'objet d'une attention spéciale au cours de l'A.G.I. On n'y a jamais effectué auparavant d'observations simultanées à partir de plusieurs stations. Il n'y eut d'ailleurs aucune station dans l'Antarctique au cours des Années Internationales Polaires de 1882–3 et 1932–3. Cette fois il y aura 57 postes d'observation entretenus par douze pays. La plupart ont été installés au cours de l'été 1955–6, et dans certaines les observations ont déjà commencé. Les stations de l'Antarctique communiquent par radio entre elles et avec le monde extérieur. Chaque station, soit fixe, soit montée sur traîneau, autochenille ou avion, aura son propre indicatif d'appel; chacune pourra communiquer soit directement avec une autre, soit avec les capitales les plus éloignées. Les bulletins météorologiques et autres observations scientifiques, de même que les rapports administratifs et les messages personnels, pourront être expédiés sans retard ni erreur. Les fréquences des diverses stations ont été choisies de façon à écarter tout risque d'interférence.

On a fait coïncider l'A.G.I. avec une période d'activité solaire maximum. En raison des effets produits sur notre planète par les perturbations solaires, il importe que les observations se multiplient pendant la durée de ces perturbations. Il n'est pas possible de prédire ces phénomènes avec précision, mais en observant le soleil on peut en pressentir l'approche. Aussi l'on a installé à Fort Belvoir, près de Washington, une des stations radiotélégraphiques du *National Bureau of Standards* américain, un service d'avertissement qui alertera les observateurs du monde entier dès que les renseignements reçus des postes d'observation solaire indiqueront la possibilité d'une perturbation. Au cas où des renseignements ultérieurs seraient plus affirmatifs, le service d'avertissement proclamera un «Intervalle Mondial Spécial» qui commencera huit heures après réception de l'avertissement. Les observations deviendront alors plus serrées dans les divers domaines et se poursuivront soit jusqu'à l'annulation de l'Intervalle au cas où la perturbation ne se produirait pas, soit jusqu'à la fin de celle-ci, ou jusqu'à ce que la zone perturbée ait passé derrière le limbe du Soleil. Les avertissements seront diffusés journellement à 16 heures TU à chaque fois qu'il y aura état d'alerte ou Intervalle Mondial Spécial, et feront savoir si l'un ou l'autre doit continuer ou prendre fin.

Des centres d'avertissements régionaux ont été prévus en Europe occidentale, en Eurasie, dans le Pacifique occidental et dans l'hémisphère occidental, et aussi des centres auxiliaires, notamment en Antarctique et en Australie. Le service d'avertissement mondial télégraphiera directement à tous les centres d'avertissement régionaux et organisera la diffusion de signaux appropriés deux fois par jour sur la bande de fréquence WWV du *Bureau of Standards*. Chaque centre régional dressera des résumés d'observations courantes sur le géomagnétisme et les aurores, les éruptions solaires, les «évanouissements» de la radio et

d'autres phénomènes, d'après les renseignements reçus, et se chargera de les diffuser télégraphiquement à toutes les stations de la région. On a préparé des codes pour les messages expédiés par le centre d'avertissement mondial et les centres régionaux, et des essais préalables ont confirmé l'efficacité des méthodes de communication.

Un trait particulier du programme d'observation sera l'utilisation de fusées et de satellites artificiels pour l'exploration de l'atmosphère à des hauteurs dépassant largement les 30 km atteints par des ballons. Les Etats-Unis, l'Union Soviétique, la Grande-Bretagne et la France ont mis au point des programmes d'observation par fusées. Celles-ci, traversant la couche d'ozone, permettront de photographier les régions de l'UV lointain et des rayons X du spectre solaire. Certaines porteront des magnétomètres pour la détection et la mesure de l'hypothétique courant annulaire imaginé pour rendre compte des variations observées dans le champ magnétique terrestre. Des mesures directes seront effectuées des densités ioniques et électroniques à l'intérieur des couches ionisées de l'ionosphère et entre elles, ainsi que la détermination de la température, la pression, la densité et la composition de la très haute atmosphère. On espère que quelques-uns au moins des lancements de fusées coïncideront avec les périodes d'intense activité solaire.

Le vol d'une fusée ne dure que quelques minutes; c'est pourquoi les Etats-Unis et l'Union Soviétique se proposent de lancer des satellites artificiels qui tourneront autour de la Terre à une hauteur de plusieurs centaines de kilomètres, envoyant des renseignements supplémentaires par radio. Les Etats-Unis espèrent lancer douze satellites au cours de l'Année, le premier au début de 1958. Celui-ci, d'un diamètre de 50 à 75 cm sera lancé au moyen d'une fusée à trois étages. Arrivé à une hauteur de 300 à 500 km, il sera projeté horizontalement à une vitesse d'environ 30 000 km/heure. Son orbite, légèrement elliptique probablement, sera, à son apogée, éloignée d'environ 1 200 km de la Terre. Le plan de son orbite sera incliné de 40° par rapport à l'équateur. Compte tenu de la rotation de la Terre, le satellite fera le tour de celle-ci en 90 minutes, survolant des régions différentes du globe à chaque révolution. Chaque satellite emportera des instruments compliuéqs de format très réduit, que l'on réalise actuellement. Il enverra des messages radio vers la Terre et des installations de radar au sol suivront sa trajectoire. Une organisation compliquée a été mise sur pied pour l'observation visuelle et photographique des satellites, suivant un horaire très précis.

Le satellite perdra graduellement son énergie initiale du fait de la résistance de l'air et descendra en spirale vers la Terre. Dès qu'il atteindra les régions plus denses de l'atmosphère il s'échauffera de plus en plus et finira par se volatiliser, comme une étoile filante. Son orbite sera calculée au moyen d'une machine électronique, et on espère en déduire des précisions sur la densité de l'atmosphère à différents niveaux. Les rayonnements solaires UV et X seront mesurés, le champ magnétique terrestre au-dessus de l'ionosphère sera exploré, le rayonnement cosmique sera étudié au moyen de compteurs, et, tout particulièrement, on sera renseigné sur le spectre des basses énergies du rayonnement cosmique. Il se peut aussi que l'on obtienne des données sur les micro-météorites et sur la densité des poussières de la haute atmosphère et de ses atomes et ions d'hydrogène. L'Union Soviétique envisage le lancement d'un satellite, ou de deux, mais on ne sait rien encore de leurs orbites.

Les observations accumulées au cours des dix-huit mois de l'A.G.I. donneront lieu à un grand nombre d'études sur des questions de géophysique. Il est toutefois inévitable que l'analyse et l'examen détaillé des données prennent beaucoup de temps; c'est pourquoi le Comité Spécial s'est penché sur la question de savoir quel serait le meilleur moyen de mettre les données à la disposition de géophysiciens. La création de trois Centres Mondiaux de Données a été décidée, — un aux Etats-Unis, un en Union Soviétique, et le dernier en Europe occidentale — où seront conservés les magnétographes, les résultats d'observations, les ionogrammes, etc.... Il faudrait que toutes les stations consacrées à un type donné d'observations adoptent un modèle uniforme pour la présentation de leurs renseignements. Des directives ont donc été rédigées à l'intention des divers domaines, quant à l'entretien et le réglage des appareils, l'interprétation des faits enregistrés, l'échelle à adopter, et enfin la présentation des résultats.

La mise en œuvre de ce gigantesque projet est l'aboutissement de longs et minutieux travaux d'organisation entrepris à l'échelle mondiale. Nous souhaitons plein succès à tous ceux qui y ont consacré leurs efforts et à ceux qui participeront au programme d'observations.

La régulation des transformations métaboliques

par H. A. KREBS

Les recherches biochimiques des trente dernières années ont montré que les transformations métaboliques principales se font par étapes intermédiaires, dont on a identifié un grand nombre. On pourrait appeler ceci: analyse qualitative des transformations métaboliques, et l'analyse quantitative va suivre maintenant. Celle-ci — objet du présent article — cherche à mettre en lumière les facteurs qui déterminent les vitesses des transformations individuelles et assurent que la série complexe de réactions biochimiques qui se produisent de façon continue dans un organisme vivant s'accorde avec ses besoins et son milieu.

Les recherches sur le métabolisme des trente dernières annés concernent principalement la mise en évidence des étapes intermédiaires et les propriétés des enzymes qui règlent chaque étape. Grâce aux nouveaux outils — techniques enzymologiques, isotopes, chromatographie et méthodes optiques — les succès ont été nombreux, et on connaît les principales étapes du métabolisme intermédiaire. L'intérêt se porte maintenant vers d'autres aspects du métabolisme intermédiaire, en particulier les mécanismes qui président aux vitesses de transformation [1–4]. On sait qu'elles ne sont pas constantes, mais varient avec l'état physiologique de la cellule. Elles peuvent être multipliées, quand un tissu tel qu'un muscle ou une glande au repos entre en activité. Le type de transformations métaboliques à l'intérieur d'une cellule peut changer quand le milieu extérieur change. Ainsi l'énergie peut provenir d'oxydations s'il y a de l'air disponible, ou de fermentation de sucre s'il n'y en a pas. Il s'ensuit que la cellule possède des mécanismes qui ajustent ses activités métaboliques à des besoins variables.

On admet en général que la régulation des phénomènes biologiques est le fait d'hormones et du système nerveux, et leur rôle est incontestable chez les animaux supérieurs. Mais il y a aussi des contrôles chez les organismes inférieurs, comme les unicellulaires, qui n'ont ni hormones ni système nerveux. Ces mécanismes «primitifs» [5] se retrouvent d'ailleurs chez les animaux supérieurs. Ce sont en fait les systèmes fondamentaux auxquels se superpose l'action hormonale ou nerveuse.

Les connaissances sur le métabolisme intermédiaire et les systèmes enzymatiques ont assez progressé ces dernières années pour que le terrain soit préparé pour l'étude de ces mécanismes «primitifs» qui contrôlent la vitesse des transformations. On peut donner quelques explications provisoires de l'adaptation des vitesses de réaction dans les cellules aux changements de besoins.

RÔLES DE L'ENZYME ET DU SUBSTRAT

L'unité fondamentale dont dépendent les vitesses est le système enzyme-substrat. Les quantités en présence limitent la vitesse maximum que l'on peut atteindre dans des conditions déterminées. Ces maxima ne sont atteints qu'exceptionnellement dans les conditions physiologiques, le facteur limitant étant généralement, mais pas toujours, la quantité de substrat: le fait que les intermédiaires métaboliques ne s'accumulent pas en général montre que les substrats des enzymes intermédiaires sont éliminés aussi rapidement qu'ils apparaissent. La période moyenne des acides du cycle tricarboxylique dans un tissu en respiration active est de l'ordre de quelques secondes [6]. Il y a assez d'enzymes dans les tissus pour prendre en charge les intermédiaires dès leur apparition; en d'autres termes, c'est la quantité de substrat disponible qui limite la vitesse de l'étape intermédiaire.

Ce qui confirme cette conclusion, c'est que

On a utilisé les abréviations suivantes:

ATP	adénosine triphosphate
ADP	adénosine diphosphate
ITP	inosine triphosphate
IDP	inosine diphosphate
DPN	diphosphopyridine nucléotide
$DPNH_2$	diphosphopyridine nucléotide réduit
CoA ou HS-CoA	coenzyme A
P	orthophosphate

l'addition d'intermédiaires accélère souvent la vitesse des étapes individuelles. Par exemple, tous les intermédiaires du cycle tricarboxylique stimulent la vitesse de respiration des préparations de tissus convenables [7]. Ceci montre que les enzymes qui attaquent le substrat ajouté ne sont pas utilisées à plein lors de l'oxydation de substrats endogènes, comme le glucose. On verra que les mêmes considérations s'appliquent à la fermentation lactique anaérobie: les tissus animaux peuvent former de l'acide lactique plus facilement à partir de l'hexose-diphosphate qu'à partir du glucose [8].

RÉACTIONS RÉGULATRICES DU MÉTABOLISME

Mais, bien que la vitesse de nombreuses étapes intermédiaires du métabolisme dépende surtout de la concentration des substrats, ceci n'est pas vrai de toutes les étapes. Il y a des réactions, — d'ailleurs peu nombreuses — dont les vitesses dépendent de facteurs autres que les quantités d'enzyme et de substrat. Ce sont les «réactions régulatrices» du métabolisme: elles présentent évidemment une importance toute particulière dans le contrôle du métabolisme. Leur étude pose deux problèmes principaux: le premier est leur identification, le second l'analyse de leur fonctionnement.

Il y a un principe général qui guide dans leur recherche. Comme ce sont des réactions à vitesse variable, le niveau de la concentration du substrat dans ces réactions doit varier avec la vitesse. Elle doit s'accroître quand la vitesse décroît. Cette élévation sera appréciable ou non suivant la position d'équilibre de l'étape précédente. L'étude de la concentration des métabolites intermédiaires, en particulier des changements dans l'état permanent qui accompagnent les changements de conditions expérimentales peut donc donner des renseignements sur la nature des étapes régulatrices et des mécanismes de contrôle. C'est ainsi que F. Lynen [2, 9] a trouvé que le passage des conditions aérobies à anaérobies dans la levure en fermentation s'accompagne d'une augmentation de la concentration en orthophosphate dans les cellules, ce qui indique qu'il y a une réaction faisant intervenir le phosphate qui joue un rôle régulateur dans la fermentation. Cependant, on sait encore peu de chose sur les concentrations des métabolites intermédiaires dans l'état permanent, faute de méthodes d'analyse convenables. Plusieurs laboratoires cherchent maintenant des techniques analytiques adéquates [4, 11, 12].

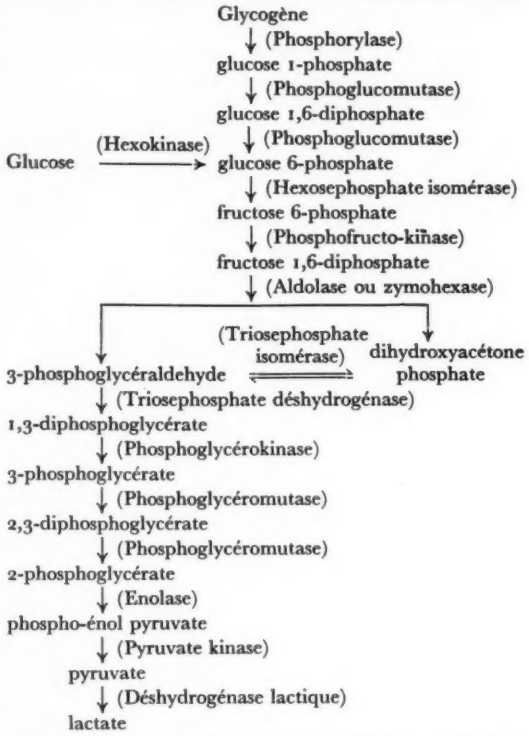


FIGURE 1 – *Fermentation lactique (glycolyse anaérobie). Modifications du squelette carboné des sucres. (On a indiqué entre parenthèses le nom des enzymes responsables de chaque étape.)*

RÉACTIONS RÉGULATRICES DE LA GLYCOLYSE ANAÉROBIE

Sur les douze étapes principales de la glycolyse anaérobie (figure 1), on a supposé que deux jouent un rôle régulateur. La première est la réaction de l'hexokinase [8] qui transforme le glucose-6-phosphate, l'agent de phosphorylation étant l'ATP, et qui déclenche toutes les grandes transformations métaboliques du glucose: la fermentation anaérobie, l'oxydation complète, et les transformations en glycogène, graisse, acides aminés et autres constituants cellulaires (figure 2). Alors que la réaction de l'hexokinase (ou une réaction très voisine, comme la pénétration du glucose au siège de l'hexokinase) détermine évidemment la vitesse d'utilisation du glucose, elle ne peut contrôler la production d'énergie à partir du glucose, à cause des multiples possibilités de dégradation ouvertes au glucose-6-phosphate.

On a considéré que la réaction de la triosephosphate déshydrogénase était la deuxième réaction régulatrice de la vitesse de production d'énergie

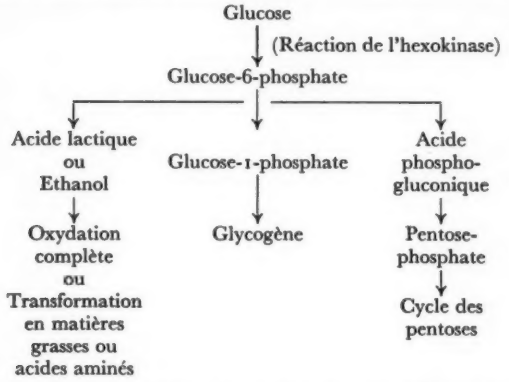


FIGURE 2 – *Représentation schématique des différents chemins métaboliques ouverts au glucose et au glucose 6-phosphate.*

à partir du glucose-6-phosphate. C'est une réaction complexe où interviennent le diphosphopyridine nucléotide, les phosphates d'adénosine, et l'orthophosphate (figure 3). L'équation de réaction montre avec évidence que la réaction ne peut avoir lieu en l'absence d'adénosine-diphosphate et d'orthophosphate, précisément les deux composés qui apparaissent lorsqu'il y a dépense d'énergie. Cependant, il faut comprendre que le

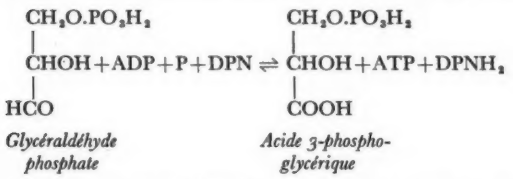


FIGURE 3 – *Transformations globales dans les systèmes triose-phosphate-déshydrogénase. C'est le résultat de deux étapes essentielles, catalysées respectivement par la triose-phosphate déshydrogénase et la phosphoglycérokinase* [10].

contrôle de la vitesse n'est pas tellement en rapport avec la présence ou l'absence de l'un de ces deux composés qu'avec leur concentration. La vitesse décroît même avant la disparition complète de l'adénosine-diphosphate ou du phosphate. Il s'ensuit également que la vitesse de la réaction de la triose-phosphate déshydrogénase peut être influencée par n'importe quelle transformation qui élimine ou fournisse de l'adénosine diphosphate ou du phosphate. La réaction principale qui élimine ces deux composés est la respiration, jointe à l'oxydation phosphorylante. Donc la respiration doit inhiber la fermentation; c'est l'interprétation de l'effet Pasteur (inhibition de la fermentation par l'oxygène) que proposent M. J. Johnson [1] et F. Lynen [2]. Par contre, toute transformation consommatrice d'énergie stimulera la fermentation dans certaines limites, parce qu'elle produit de l'adénosine diphosphate ou du phosphate.

Ce mécanisme semble probable; mais il reste encore quelques aspects des mécanismes d'utilisation du glucose à éclaircir [9]. L'arrêt de la réaction de la triose-phosphate déshydrogénase explique l'arrêt de la formation d'acide lactique, mais n'explique pas pourquoi il y a utilisation de moins de sucre. Si le triose-phosphate n'était pas éliminé, il y aurait accumulation de fructose diphosphate, vu la réversibilité de la réaction de l'aldolase (voir figure 1). Mais la transformation fructose 6-phosphate → fructose 1 : 6-diphosphate ne se fait pas facilement en sens inverse. Donc l'accumulation de triose-phosphate ou de fructose 1:6-diphosphate ne peut pas, par action de masse, empêcher la réaction de l'hexokinase, ou la conversion du glucose 6-phosphate en fructose 6-phosphate et fructose 1:6-diphosphate. Au contraire, il faut une concentration relativement élevée d'adénosine-triphosphate pour inhiber la réaction de la triose-phosphate déshydrogénase, ce qui doit normalement faciliter la formation du glucose 6-phosphate comme du fructose 1:6-diphosphate à partir du glucose et du glycogène. Il doit donc y avoir des facteurs additionnels responsables de la chute de la consommation en sucre quand on passe de l'anaérobiose à l'aérobiose. Lynen et Koenigsberger [9] se sont demandé si la vitesse de la réaction de l'hexokinase pouvait être réglée par les hexoses-phosphates formés. Dans cet ordre d'idée, signalons une découverte importante de H. Weil-Malherbe et A. D. Bone [13], développée par R. K. Crane et A. Sols [14]: l'hexokinase est inhibée, de façon non-compétitive, par le glucose-6-phosphate. Il suffit d'une concentration de $0{,}5 \times 10^{-3}$ M pour entraîner une inhibition de 40%. Il est certainement possible que cette inhibition, ou des effets analogues à d'autres étapes de la glycolyse jouent un rôle dans le mécanisme de contrôle, mais avant de pouvoir l'accepter, il faudra d'autres recherches, notamment étudier les concentrations de régime des intermédiaires phosphorylés, la cinétique des systèmes enzymatiques en jeu, et leur inhibition spécifique par des métabolites intermédiaires.

On s'est aussi demandé si la réduction de la consommation de sucre en présence d'oxygène n'était pas le fait d'une action directe de l'oxygène sur une enzyme, par exemple l'oxydation d'un groupement —SH, conduisant à une inactivation

réversible [15–17, 9], mais il y a des preuves à l'encontre de ce genre de mécanisme. Dans divers cas, la fermentation atteint le niveau anaérobie même en présence d'oxygène, par exemple après addition de dinitrophénol, de cyanure ou de carbylamine.

RÉACTIONS RÉGULATRICES DE LA RESPIRATION

Lors de la libération d'énergie par oxydation de sucres, de graisses et d'acides aminés, il y a plus de cent étapes intermédiaires identifiables, dont un petit nombre seulement sont régulatrices. Il y a deux points du trajet où l'on doit s'attendre à les trouver: là où se décide la consommation totale en oxygène (c'est-à-dire, l'approvisionnement en énergie) et là où, après une dégradation partielle, apparaît une bifurcation.

Puisque les intermédiaires ne s'accumulent pas, les étapes initiales de l'oxydation d'un substrat doivent être régulatrices. Ces réactions déterminent aussi quel substrat, dans un mélange, sera attaqué de préférence; si ce sont les sucres, les acides gras ou les acides aminés qui serviront de source d'énergie. Les bifurcations, où plusieurs trajets possibles s'offrent à un métabolite intermédiaire, sont fréquentes. On en verra des exemples sur la figure 4, qui indique schématiquement les étapes principales du métabolisme des sucres et des acides gras où il peut y avoir des bifurcations. C'est là qu'un mécanisme décide si le glucose est dégradé pour fournir de l'énergie ou stocké sous forme de glycogène; si le glucose, par l'intermédiaire de l'acétyl-coenzyme A est transformé en matières grasses, ou si celles-ci sont dégradées pour fournir de l'énergie; s'il y a formation de corps cétoniques à partir des acides gras ou de l'acétyl-coenzyme A, ou dégradation par le cycle tricarboxylique; si les intermédiaires du cycle tricarboxylique sont oxydés, ou fournissent le squelette carboné nécessaire à la synthèse des acides aminés, porphyrines et stérols.

SCHÉMAS ENZYMATIQUES DE MÉCANISMES DE RÉGULATION

L'analyse des mécanismes de régulation qui fonctionnent dans ces réactions doit commencer par une traduction des phénomènes en termes de chimie enzymatique. On peut se trouver devant deux genres de situation. La divergence des trajets métaboliques peut résulter soit d'un choix entre plusieurs réactions (par exemple, entre l'utilisation des sucres, celle des graisses, ou celle des protéines pour suppléer aux besoins

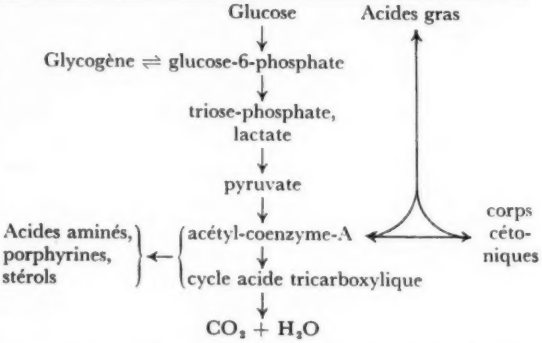


FIGURE 4 – *Exemples de bifurcations dans le métabolisme intermédiaire des sucres et des acides gras.*

énergétiques), ou d'un choix entre deux directions opposées sur un même trajet (par exemple, synthèse ou dégradation d'acides gras). Dans le premier cas, il s'agit de réactions essentiellement différentes; dans le deuxième, des deux sens opposés d'une même réaction.

En examinant de plus près le premier cas, on voit que les diverses réactions qui peuvent avoir lieu lorsqu'une cellule a le choix entre plusieurs substrats ne sont pas entièrement indépendantes et séparées. L'oxydation d'un substrat par l'oxygène moléculaire fait intervenir en général trois types de catalyseurs, qui fonctionnent en série. Ce sont respectivement les nucléotides pyridiniques, les flavoprotéines et les ferroporphyrines. Ce ne sont que les premières étapes de cette suite complexe qui varient d'un substrat à l'autre.

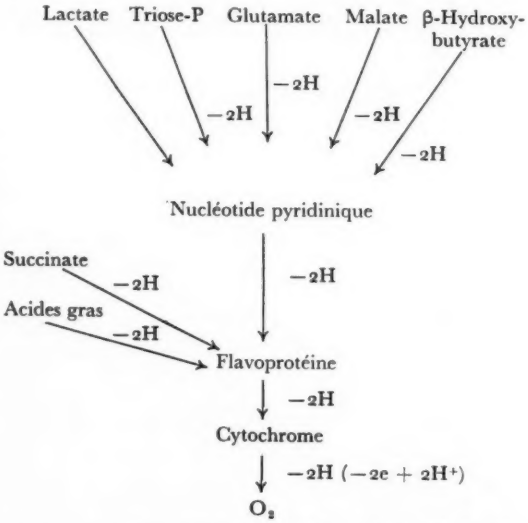


FIGURE 5 – *Convergence des chemins suivis par l'hydrogène, depuis divers substrats, jusqu'à l'oxygène moléculaire.*

Toutes les autres étapes intermédiaires sont communes aux diverses réactions, comme le montre schématiquement la figure 5. On a choisi cinq substrats, représentant la grande majorité des métabolites sources d'énergie, pour illustrer le principe. L'oxydation commence dans tous les cas par le transfert d'atomes d'hydrogène sur un intermédiaire commun, le diphosphopyridine nucléotide.

Les acides gras et le succinate font partiellement exception, mais dans ce cas, la plupart des étapes intermédiaires sont aussi communes aux autres substrats. Les acides gras et le succinate donnent leur hydrogène directement à une flavoprotéine, entorse à la règle générale qui vient des caractéristiques thermodynamiques de ces substrats.

Le choix du substrat se traduit donc par la compétition de plusieurs composés pour le même catalyseur. La majorité des substrats sont en compétition directe pour le diphosphopyridine nucléotide; les acides gras, le succinate, le diphosphopyridine réduit recherchent la flavoprotéine. Ce sont des propriétés physico-chimiques définies, comme les vitesses relatives d'interaction avec l'agent commun qui décident de celui des substrats qui sera oxydé.

Il semble qu'un mécanisme de régulation similaire, avec compétition, intervienne à une bifurcation métabolique où se décide le rôle de l'acide acétique, réagissant sous la forme acétyl-coenzyme A. Dans le tissu hépatique, l'acétyl-coenzyme A peut se transformer en acéto-acétate (cétogenèse) ou être oxydé complètement en eau et gaz carbonique par le cycle tricarboxylique (anticétogenèse) (figure 4). L'acétoacétate se forme par condensation de deux molécules d'acétate, tandis que l'oxydation par le cycle tricarboxylique commence par la condensation de l'acétate avec l'oxalacétate. Ceci suggère que c'est de la quantité d'oxalacétate disponible que dépendent essentiellement la cétogenèse et l'anticétogenèse [18]. Cependant, en bien des cas, les expériences sur l'animal entier ne confirment pas ce point de vue; l'acide succinique, qui se transforme aisément en oxalacétate dans le corps, ne fait disparaître l'acidose ni chez les diabétiques humains [19] ni chez le rat [20]. On observe pourtant une baisse de l'excrétion des corps cétoniques chez le rat, rendue cétosique par l'ingestion de butyrate en excès, lorsqu'on administre divers précurseurs de l'oxalacétate [21]. Par ailleurs, l'oxalacétate est certainement anticétogénique dans les mitochondries isolées. Les acides gras donnent des corps cétoniques dans les mitochondries de foie de rat en l'absence d'oxalacétate, mais sont oxydés par le cycle tricarboxylique si on ajoute de l'oxalacétate [22]. Donc, au moins dans certaines conditions, l'accumulation des corps cétoniques ou l'oxydation complète des acides gras dépendent des disponibilités en oxalacétate.

La même conclusion ressort d'expériences avec des composés qui dérangent le cycle tricarboxylique, et par suite réduisent la quantité d'oxalacétate disponible. Le malonate, qui empêche l'oxydation du succinate, et les ions ammoniums qui transforment l'α-céto-glutarate en glutamate sont tous deux cétogènes [23]. Ces observations soulignent le rôle essentiel de l'oxalacétate, mais on ne peut prétendre avoir complètement compris le mécanisme de contrôle de la cétogenèse, apparemment faute de renseignements suffisants sur les facteurs qui contrôlent la concentration de régime en oxalacétate. On connaît au moins cinq réactions indépendantes qui en produisent ou en consomment:

malate + DPN	⇌ oxalacétate + $DPNH_2$ (déshydrogénase malique)
phosphopyruvate + CO_2 + ADP (ou IDP)	⇌ oxalacétate + ATP (ou ITP) (réaction de Utter-Kurahashi)
aspartate + α-céto-glutarate	⇌ oxalacétate + glutamate (transaminase)
oxalacétate + H_2O	⇌ pyruvate + HCO_3^- (décarboxylase oxalacétique)
oxalacétate + acétyl-coenzyme A	⇌ citrate + coenzyme A (enzyme condensante)

La concentration de régime en oxalacétate doit dépendre du jeu mutuel de ces cinq réactions (ou plus), mais on ignore ce qui mène le jeu. En résumé, on peut dire que le sort métabolique de l'acétyl-coenzyme A à l'une des bifurcations dépend des disponibilités en un composé particulier. Là encore, deux chemins distincts s'offrent à un substrat: ou bien une réaction sur l'oxalacétate, ou bien une réaction sur une deuxième molécule d'acétyl-coenzyme A.

Les disponibilités en oxalacétate dépendent de la formation ou non de l'acétoacétyl-coenzyme A. L'acétoacétate libre n'apparaît en quantités appréciables que dans le foie. Ceci tient à la présence dans le foie d'une enzyme qui hydrolyse l'acétoacétyl-coenzyme A (désacylase). A la différence de la plupart des autres tissus, le foie ne peut reconvertir l'acétoacétate libre en dérivé coenzyme A [24].

On s'est préoccupé jusqu'à présent du mécanisme de sélection entre divers chemins métaboliques. Dans un autre mode de mécanisme enzymatique, les deux alternatives sont les deux sens possibles d'une même réaction: par exemple, la synthèse ou la dégradation d'acides gras. On

sait que les acides gras à longue chaîne sont dégradés et construits par élimination ou addition d'unités en C_2, réagissant sous la forme acétyl-coenzyme A. Dans la dégradation comme dans la synthèse, chaque molécule d'acétyl-coenzyme A peut subir quatre réactions réversibles [25, 26]. Dans la dégradation, la première étape est la déshydrogénation de la chaîne grasse en α-β, avec formation d'une double liaison en α-β. L'accepteur immédiat de l'hydrogène est une flavoprotéine:

$$\underset{\text{(acyl-coenzyme A)}}{R.(CH_2)_n.CH_2.CH_2.CH_2.CO.S—CoA} + \text{flavoprotéine}$$

$$\Updownarrow$$

$$\underset{\text{(acyl-coenzyme A, α-β non-saturé)}}{R.(CH_2)_n.CH_2.CH=CH.CO.S—CoA} + \text{dihydroflavoprotéine}$$

Il y a ensuite hydration de la double liaison, avec formation d'un acide β-alcool.

$$\underset{\text{(acyl-coenzyme A α-β non-saturé)}}{R.(CH_2)_n.CH_2.CH=CH.CO.S—CoA} \underset{-H_2O}{\overset{+H_2O}{\rightleftharpoons}} \underset{\text{(β-hydroxy-acyl-coenzyme A)}}{R.(CH_2)_n.CH_2.CH(OH).CH_2.CO.S—CoA}$$

Puis vient la déshydrogénation de l'acide β-alcool en acide β-cétonique, avec DPN comme accepteur primaire de l'hydrogène:

$$\underset{\text{(β-hydroxy-acyl-coenzyme A)}}{R.(CH_2)_n.CH_2.CH(OH).CH_2.CO.S—CoA} + DPN$$

$$\Updownarrow$$

$$\underset{\text{(β-céto-acyl-coenzyme A)}}{R.(CH_2)_n.CH_2.CO.CH_2.CO.S—CoA} + DPNH_2$$

L'étape suivante est la «thiolyse» de l'acide β-cétonique par une molécule de coenzyme A, avec formation d'acétyl-coenzyme A et d'un acyl-coenzyme A ayant deux carbones de moins que celui de départ:

$$\underset{\text{(β-céto-acyl-coenzyme A)}}{R.(CH_2)_n.CH_2.CO.CH_2.CO.S—CoA} + CoA—S.H$$

$$\Updownarrow$$

$$\underset{\text{(acyl coenzyme A)}}{R.(CH_2)_n.CH_2.CO.S—CoA} + \underset{\text{(acétyl-coenzyme A)}}{CH_3.CO.S—CoA}$$

En sens inverse, ces réactions permettent l'allongement des acides gras, et on peut se demander ce qui détermine la synthèse ou la dégradation dans ce système réversible. La somme des quatre réactions est la suivante:

$$C_n\text{-acyl CoA} + DPNH_2 + \text{flavoprotéine réduite} + \text{acétyl-CoA} \rightleftharpoons C_{n+2}\text{-acyl-CoA} + DPN + \text{flavoprotéine} + CoA$$

Comme elle est réversible, elle va de gauche à droite quand les valeurs des trois rapports:

$$\frac{\text{acétyl-CoA}}{CoA}, \frac{\text{flavoprotéine réduite}}{\text{flavoprotéine oxydée}}, \frac{DPNH_2}{DPN}$$

sont relativement élevées, et de droite à gauche dans le cas opposé. Dans l'animal intact, la graisse se forme lorsqu'il y a un excès de sucres, c'est-à-dire, lorsque du pyruvate est disponible pour former plus d'acétyl-coenzyme A que n'en nécessite la production d'énergie par le cycle tricarboxylique. En même temps que la formation de l'acétyl-coenzyme A à partir du pyruvate se produit la réduction du diphosphopyridine nucléotide, et indirectement de la flavoprotéine. Donc, l'excès de pyruvate augmente ces trois rapports, alors que le manque de sucres les fait baisser. On peut donc comprendre, en termes généraux pourquoi les acides gras sont dégradés en l'absence de sucres et resynthétisés en leur présence. On peut aussi comprendre pourquoi la synthèse des graisses est perturbée dans le diabète, et pourquoi l'insuline est nécessaire à cette synthèse [5]. L'utilisation des sucres par les organismes supérieurs nécessite la présence d'insuline; donc l'absence d'insuline réduit la formation de pyruvate par oxydation, ce qui réduit à son tour les disponibilités en acétyl-coenzyme A et fait baisser le rapport $DPNH_2/DPN$ [28].

Il y a d'autres synthèses où l'on ne reconnaît pas d'une façon aussi satisfaisante les mécanismes dont dépend l'équilibre entre synthèse et dégradation, surtout parce que les réactions enzymatiques n'ont pas été suffisamment éclaircies. On peut probablement appliquer souvent les mêmes principes que dans le cas des acides gras.

Les régulateurs de la respiration considérés jusqu'à présent montrent comment peut être dirigé le choix entre deux processus métaboliques. Il nous faut encore étudier les mécanismes qui règlent la consommation d'oxygène, ou l'approvisionnement énergétique aérobie. Ceci dépend de la réactivité du système de catalyseurs qui régit l'oxydation des substrats organiques par l'oxygène moléculaire; en d'autres termes, de la vitesse à laquelle le diphosphopyridine nucléotide réduit, la flavoprotéine réduite, et le cytochrome réduit peuvent transmettre des atomes d'hydrogène ou des électrons à O_2. On sait que le transport de l'hydrogène à partir de diphosphopyridine nucléotide réduit jusqu'à O_2, selon le trajet de la figure 5, est associé à la synthèse de l'adénosine triphosphate à partir de l'adénosine diphosphate et de phosphate. Par suite, la réaction:

$$DPNH_2 + \tfrac{1}{2}O_2 \longrightarrow DPN + H_2O$$

et ses étapes composantes ne peuvent se produire à pleine vitesse qu'en présence d'adénosine diphosphate et d'orthophosphate (quoiqu'il puisse

parfois y avoir des raccourcis sans intervention de phosphate [26]). En fait, l'oxydation écrite ci-dessus n'est qu'une réaction partielle et le système:

$$\left.\begin{array}{l} DPNH_2 + \frac{1}{2}O_2 \\ \\ + 3ADP + 3P \end{array}\right\} \longrightarrow \left\{\begin{array}{l} DPN + H_2O \\ \\ + 3ATP + 3H_2O \end{array}\right.$$

décrit plus correctement l'état des choses.

Ce couplage entre oxydation et phosphorylation (oxydation phosphorylante) semble obligatoire dans les conditions physiologiques, et le rôle du phosphate dans ce système est donc comparable à son rôle dans la réaction de la triose-phosphate-déshydrogénase mentionnée ci-dessus. Les deux réactions dépendent d'un apport d'adénosine diphosphate et de phosphate. Elles sont donc subordonnées à la vitesse de rupture de l'adénosine triphosphate en adénosine diphosphate et phosphate, c'est-à-dire, à la quantité d'énergie dépensée. Comme la vitesse d'interaction entre les substrats et le diphosphopyridine nucléotide dépend de la vitesse à laquelle ce dernier est régénéré par oxydation, à partir de sa forme réduite, la phosphorylation oxydante règle également la vitesse de dégradation du substrat.

Rappelons encore qu'il s'agit là de suggestions provisoires. Elles s'appuyent sur des preuves nombreuses, mais ne sont pas établies en détail. Ce qui est bien établi est la fonction de la concentration en phosphate et en accepteurs de phosphate comme facteur limitant de la vitesse dans certaines conditions bien définies. En particulier, H. A. Lardy et H. Wellman [31] ont approfondi des observations antérieures de A. Lennerstrand [29] et V. A. Belitzer [30]. Ils ont montré que l'oxydation de substrats variés par les mitochondries du foie est accélérée par addition de phosphate minéral et d'adénosine diphosphate, ou d'autres accepteurs de phosphate [3, 4, 32–34]. Dans certaines conditions expérimentales, c'est le phosphate minéral qui est le facteur limitant; dans d'autres, c'est l'accepteur de phosphate [35]. Il est probable que, *in vivo* les deux jouent un rôle.

VULNÉRABILITÉ DES ÉTAPES RÉGULATRICES

Lorsque des produits chimiques déterminés — hormones, médicaments, poisons — modifient les vitesses métaboliques, il est vraisemblable que le point d'attaque est une des étapes régulatrices [36]. L'effet primaire de ces agents est dans la plupart des cas l'inhibition ou l'activation d'une enzyme. Puisque l'activité d'une étape non régulatrice n'est pas un facteur limitant la vitesse, une inactivation, ou une activation, même importantes, de celle-ci ne doivent pas changer les vitesses métaboliques globales, bien qu'il puisse y avoir une modification des concentrations de régime des intermédiaires.

Les observations expérimentales s'accordent avec l'idée que les étapes du métabolisme intermédiaire répondant aux inhibiteurs ou aux hormones sont généralement des réactions régulatrices. Des inhibiteurs spécifiques de la glycolyse contrarient soit la réaction de l'hexokinase (par exemple, le L-glycéraldéhyde), soit le système triose-phosphate déshydrogénase (par exemple, l'iodacétate). Les inhibiteurs spécifiques des phénomènes respiratoires contrarient soit le système transporteur d'électrons (tels le cyanure, l'azothydrate ou le sulfure), avec la réaction d'attaque du système organique, c'est-à-dire la réaction de la déshydrogénase (tel le malonate). D'autres inhibiteurs perturbent l'équilibre des composés réagissant en quelque point: tels les agents cétogènes, qui réduisent les disponibilités du foie en oxalacétate. En ce qui concerne les hormones, on pense que l'insuline agit sur la vitesse de la réaction de l'hexokinase, peut-être en agissant sur la pénétration du sucre dans les cellules. L'effet de la thyroxine, ou de la triodothyronine sur le métabolisme basal semble dû à un dérangement du système transporteur d'électrons. L'action glycogénolytique de l'adrénaline tient à son action accélératrice sur la réaction de la phosphorylase, qui entraîne la dégradation du glycogène [37].

REMARQUES GÉNÉRALES SUR LE PLAN DES MÉCANISMES DE RÉGULATION «PRIMITIFS»

Alors que la régulation hormonale des activités biologiques opère en général par effet sur l'activité d'une enzyme, les mécanismes de régulation non-hormonale étudiés dans cet article sont en principe d'un genre différent. Ils appartiennent en général à ce type de système que les ingénieurs appellent système «à réaction». Le phénomène ainsi dirigé produit en se développant des conditions défavorables à un développement ultérieur, ce qui se traduit par une diminution de la vitesse de transformation. Cette diminution ramène des conditions plus favorables, et le développement reprend. Les régulateurs de température sont parmi les plus simples des systèmes de ce genre.

Bien souvent, on trouve des mécanismes semblables pour la régulation des vitesses métaboliques. Les composés-clés dont dépend le contrôle de l'apport d'énergie sont le phosphate minéral et l'adénosine diphosphate. Leur présence accélère la vitesse de dégradation des aliments,

aussi bien aérobie qu'anaérobie. Lorsqu'il y a consommation d'énergie, leur concentration doit nécessairement s'élever. Mais alors, l'accroissement des vitesses de respiration ou de fermentation cause leur élimination, ce qui diminue la vitesse des réactions qui fournissent l'énergie.

On peut également reconnaître des systèmes à réaction dans les mécanismes de compétition, où le diphosphopyridine nucléotide joue un rôle clé. Quand deux substrats entrent en compétition pour un catalyseur intermédiaire commun, chacun crée, par sa présence, des conditions défavorables à la réaction de l'autre substrat. Lorsque l'un disparaît, c'est automatiquement l'autre qui prend sa place sur le catalyseur, ce qui permet la constance approximative de l'activité catalytique.

Chez les animaux supérieurs, on peut illustrer l'importance relative des contributions hormonales et «à réaction», par l'exemple des transformations fournissant de l'énergie. Alors que des hormones, particulièrement celles de la thyroïde jouent un rôle important dans la régulation du métabolisme basal, l'énergie nécessaire à l'activité fonctionnelle — contraction musculaire, sécrétion des glandes — est essentiellement sous la dépendance de mécanismes à réaction. Il est vrai que des hormones peuvent régler les sécrétions, et par là influer sur la vitesse d'apport d'énergie, mais ces effets sont probablement indirects, et réalisés par l'intermédiaire de mécanismes à réaction.

Ces mécanismes interviennent à bien d'autres niveaux de l'organisation biologique. Citons comme exemple l'effet de la pression du gaz carbonique alvéolaire sur la respiration [38], connu depuis longtemps. Il y en a d'autres pour les battements du cœur [39], et particulièrement pour régler les activités du système nerveux, y compris les centres supérieurs. Le comportement bien déterminé de systèmes biologiques particuliers peut souvent s'expliquer de façon purement mécaniste par des hypothèses fondées sur le principe du système à réaction [40].

BIBLIOGRAPHIE

[1] JOHNSON, M. J. *Science*, **94**, 200, 1941.
[2] LYNEN, F. *Liebigs Ann.*, **546**, 120, 1941.
[3] LARDY, H. A. *Proc. 3rd Int. Congr. Biochem., Brussels*, **287**, 1955.
[4] CHANCE, B. *Harvey Lect.*, **49**, 145, 1955.
[5] STADIE, W. C. *Physiol. Rev.*, **34**, 52, 1954.
[6] KREBS, H. A. «Chemical Pathways of Metabolism», D. M. Greenberg (publié par), Academic Press, New-York. **1**, 109, 1954.
[7] *Idem. Adv. Enzymol.*, **3**, 191, 1943.
[8] LEPAGE, G. A. *Cancer Res.*, **10**, 77, 1950.
[9] LYNEN, F. et KOENIGSBERGER, R. *Liebigs Ann.*, **573**, 60, 1951.
[10] BÜCHER, T. *Biochim. Biophys. Acta*, **1**, 292, 1947.
[11] GERLACH, E., WEBER, E. et DÖRING, H. J. *Arch. exp. Path. Pharm.*, **226**, 9, 1955.
GERLACH, E. et WEBER, E. *Ibid.*, **226**, 496, 1955.
[12] GLOCK, G. E. et MCLEAN, P. *Biochem. J.*, **61**, 381, 1955.
[13] WEIL-MALHERBE, H. et BONE, A. D. *Ibid.*, **49**, 339, 1951.
[14] CRANE, R. K. et SOLS, A. *J. biol. Chem.*, **210**, 597, 1954.
[15] LIPMANN, F. *Biochem. Z.*, **265**, 133, 1933.
Idem. Ibid., **268**, 205, 1933.
[16] BURK, D. *Cold Spring. Harb. Symp. quant. Biol.*, **7**, 420, 1939.
[17] MEYERHOF, O. et FIALA, S. *Biochim. Biophys. Acta*, **6**, 1, 1950.
[18] KORANYI, A. et SZENT GYÖRGYI, A. *Dtsch. Med. Wschr.*, **63**, 1029, 1937.
[19] LAWRENCE, R. D. *Lancet*, II, **233**, 286, 1937.
[20] DEUEL, H. R., MURRAY, S. et HALLMAN, L. F. *Proc. Soc. exp. Biol. N.Y.*, **37**, 413, 1937.
TERRELL, A. W. *Ibid.*, **39**, 300, 1938.
[21] BEATTY, C. H. et WEST, E. S., *J. biol. Chem.*, **190**, 603, 1951.
[22] LEHNINGER, A. L. *Ibid.*, **164**, 291, 1946.
[23] RECKNAGEL, R. O. et POTTER, V. R. *Ibid.*, **191**, 263, 1951.
[24] MAHLER, H. R. *Fed. Proc.*, **12**, 694, 1953.
MII, S. et GREEN, D. E. *Biochim. Biophys. Acta*, **13**, 425, 1954.
[25] LYNEN, F. *Harvey Lect.*, **48**, 201, 1954.
[26] GREEN, D. E. *Biol. Rev.*, **29**, 330, 1954.
[27] TERNER, C. *Biochem. J.*, **64**, 532, 1956.
HELE, P. et POPJAK, G. *Ibid.*, **60**, XXXII, 1955.
[28] HOLZER, H. *Ergebn. med. Grundlagenforsch.*, **1**, 189, 1956.
[29] LENNERSTRAND, A. *Biochem. Z.*, **289**, 104, 1936.
[30] BELITZER, V. A. *Enzymologia*, **6**, 1, 1939.
[31] LARDY, H. A. et WELLMAN, H. *J. biol. Chem.*, **195**, 215, 1952.
[32] COOPER, C., DEVLIN, T. M. et LEHNINGER, A. L. *Biochim. Biophys. Acta.*, **18**, 159, 1955.
[33] RABINOVITZ, M., STULBERG, M. P. et BOYER, P. D. *Science*, **114**, 641, 1951.
[34] TERNER, C. *Biochem. J.*, **64**, 523, 1956.
[35] CHANCE, B. et WILLIAMS, G. R. *Adv. Enzymol.*, **17**, 65, 1956.
[36] KREBS, H. A. The effects of extraneous agents on cell metabolism. Dans «Ionizing Radiation and Cell Metabolism», Ciba Foundation Symposium. J. and A. Churchill, Londres. 92, 1956.
[37] CORI, C. F. «Currents in Biochemical Research», D. E. Green (Rédacteur-en-chef), Interscience Publishers Inc., New-York. 198, 1956.
[38] HALDANE, J. S. et PRIESTLEY, J. G. *J. Physiol.*, **32**, 225, 1905.
[39] WAGNER, R. «Probleme und Beispiele biologischer Regelung». Georg Thieme Verlag, Stuttgart. 1954.
[40] ROSENBLEUTH, A., WIENER, N. et BIGELOW, J. *Phil. Sci.*, **10**, 18, 1943.

Le premier lexicographe de la chimie: P.-J. Macquer

par DOUGLAS McKIE

Les «Elémens de chymie théorique» (1749) et les «Elémens de chymie pratique» (1751) de Macquer situent leur auteur au premier rang des savants chimistes, à côté des Rouelle et des Lemery; mais son œuvre capitale, le dictionnaire de chimie — qui est en fait une encyclopédie — parut quinze ans plus tard. Il y en eut plusieurs éditions, tant françaises qu'étrangères, car l'ouvrage fut traduit en plusieurs langues et contribua puissamment aux progrès quasi révolutionnaires que fit la chimie à cette époque.

Pierre-Joseph Macquer, né à Paris le 9 octobre 1718, fils de Joseph Macquer et de Marie-Anne Caillet, fut un des plus fameux de la pléiade de chimistes que produisit la France du XVIIIe siècle. Philippe, son frère puîné, naquit le 15 février 1720. On a dit que son père était un rejeton d'une famille noble écossaise, réfugiée en France après avoir perdu tous ses biens au service des Stuarts et de la foi catholique. Cependant, le nom de Macquer ne semble pas être un nom écossais, même déguisé. Il ne peut être dérivé de Ker, attendu que ceux qui portaient ce nom illustre étaient opposés aux Stuarts. L'auteur a suggéré ailleurs [1] que Macquer pourrait être une corruption de Maguire, le nom de famille des infortunés seigneurs d'Enniskillen, que l'on rencontre souvent dans les registres paroissiaux de Saint-Germain-en-Laye où se trouvaient Jacques II et sa cour. Cela indiquerait que Macquer était de descendance irlandaise plutôt qu'écossaise.

Macquer le père tenait, dit-on, à ce que ses fils embrassent une profession; c'était là sans doute l'effet d'un demi-siècle de pauvreté parmi ses compagnons d'exil. Philippe, son fils cadet, choisit le droit, qu'il dut abandonner bientôt, pour des raisons de santé, pour s'adonner à l'histoire de la littérature. Là il se distingua par son érudition précise et la clarté de son style. Pierre-Joseph, lui, choisit la médecine. Il n'en était guère féru, semble-t-il; mais c'était la profession qui se rapprochait le plus des sciences physiques qui l'attiraient de plus en plus. En 1742, il fut reçu docteur en médecine de la Faculté de Paris. S'étant toutefois intéressé spécialement à la chimie, il fut élu, à l'âge de 27 ans, à l'Académie des Sciences en qualité d'adjoint-chimiste, succédant à Paul Malouin, promu associé. Macquer devint à son tour associé en 1766, puis pensionnaire en 1772. On le voit directeur-suppléant de l'Académie en 1773 et directeur en 1774.

FIGURE 1 – *Pierre-Joseph Macquer* (1718–84), *Professeur de chimie au Jardin du Roi, à Paris, et premier lexicographe de la chimie. D'après une gravure de Benoist reproduisant une peinture de Garrand.* (*Due à l'amabilité du directeur de la Bibliothèque Nationale.*)

Macquer étudia la chimie au Jardin du Roi sous la direction de Guillaume-François Rouelle (1703–70) dont une biographie a paru ici même [2]. Rouelle était, aux yeux de ses contemporains, le fondateur de la chimie française. Le premier, il enseigna en France la théorie du phlogiston, laquelle, en dépit des critiques dont elle a été l'objet de la part de ceux qui n'ont pas compris son rôle dans le développement de la chimie, eut le grand mérite de faire sortir celle-ci de l'officine de l'alchimiste et de l'apothicaire. Cependant les procédés chimiques se

ressentaient encore de l'art de l'apothicaire, et ce fut Macquer, son élève, qui les en débarrassa complètement et fit de la chimie une science indépendante. C'est par son enseignement, ainsi que ses nombreux ouvrages, devenus des classiques de la chimie, qu'il réussit à amener cet important changement.

FIGURE 2 – *Gravure, probablement de Benoît Audran (m. en 1772) d'après le tableau de Teniers, «L'Alchimiste», et figurant en tête de la 2e édition (in-4°) du «Dictionnaire de Chimie» de Macquer (Paris, 1778).*

Son premier mémoire (1745) parut dans le volume annuel des Mémoires de l'Académie des Sciences; il s'agit de la solubilité des huiles dans l'esprit de vin. Deux autres suivent (1746 et 1748) sur les sels d'arsenic; puis un autre (1747) sur la craie et le plâtre. Il démontre en 1752 que le bleu de Prusse est une combinaison de fer et de quelque chose qui est extrait par les alcalis des matières animales utilisées dans sa préparation. Pendant plus de trente ans les mémoires se succèdent: sur les matières colorantes, les terres fusibles, le platine, la solubilité des sels dans l'esprit de vin, les eaux minérales, etc. Entre-temps Macquer a commencé à enseigner la chimie, à laquelle il se consacre entièrement.

En 1757, Macquer, avec la collaboration d'Antoine Baumé (1728–1804) commence à donner des cours de chimie dans leur laboratoire de la rue St. Denis, à Paris. Baumé, maître-apothicaire et professeur à l'Ecole de pharmacie, est l'auteur d'un grand nombre de mémoires et de livres, notamment la «Chymie expérimentale et raisonnée» (Paris, 1773, 3 vols.), où sont consignés les résultats de seize des cours annuels faits en collaboration avec Macquer. Chacun de ces cours comporte plus de deux mille démonstrations expérimentales. Pour en revenir à Macquer, il obtint de Buffon en 1770 la réversion de la chaire de chimie qu'occupait Bourdelin au Jardin du Roi, prêta serment en 1771 et prit le poste à la mort de Bourdelin en 1777.

Les «Elémens de chymie théorique» parurent pour la première fois à Paris en 1749. C'était un seul volume in-8° de 350 pages, illustré de trois planches représentant des appareils chimiques et d'une reproduction de la table d'affinités chimiques de Geoffroy. Le célèbre «Cours de chymie» de Nicolas Lemery (1645–1715), dont la première édition parut à Paris en 1675, était encore en vogue en France et dans toute l'Europe; il avait été traduit en anglais, allemand, latin, italien et espagnol, et sa grande édition in-4° de près de mille pages devait paraître prochainement. Aussi le modeste ouvrage de Macquer a dû faire fort peu de bruit. Mais on y trouvait les principes de la chimie, les diverses classes de corps chimiques et leurs propriétés; mais surtout — de là son importance — il passait sous silence leurs vertus pharmaceutiques, ce à quoi on ne s'attendait guère, Macquer étant médecin. Il semblait donc que l'enseignement de Rouelle avait porté fruit: le succès de ce nouvel ouvrage où la chimie prenait rang parmi les sciences fut immédiat et durable.

Deux ans après, Macquer publie un nouvel ouvrage: «Les élémens de chymie pratique» (Paris, 1751) en deux volumes in-8° comprenant plus de mille pages. Suit une nouvelle édition de la «chymie théorique» en 1753. Enfin en 1756 les deux ouvrages sont réunis en une édition de trois volumes, un pour la chimie théorique et deux pour la chimie pratique, totalisant environ 1500 pages. Dès lors Macquer est reconnu comme l'auteur d'ouvrages chimiques le plus distingué de France. Sa réputation s'étend rapidement. A Londres une traduction de son œuvre par Andrew Reid, en deux volumes, paraît sous le titre *Elements of the Theory and Practice of Chemistry* (1758).

Il y en eut une deuxième édition en 1764, dédiée au Comte de Bute. Une troisième édition en trois volumes, publiée à Edimbourg en 1768 et dédiée «Aux Etudiants de l'Université d'Edimbourg et à tous les amateurs de chimie», est encore l'édition la plus attrayante de cette œuvre. On dit qu'une autre édition anglaise, la quatrième

sans doute, a paru à Londres en 1775. Il parut à Edimbourg en 1777 une cinquième édition en un volume, dont l'auteur de ces lignes a sous les yeux un exemplaire. Il contient deux feuilles volantes couvertes de notes écrites apparemment de la main de Joseph Black à qui il appartenait, dit-on. En effet, il y a sans doute un rapport entre la publication des éditions de 1768 et de 1777 à Edimbourg et le fait que Black recommandait fortement l'ouvrage à ses étudiants de chimie à l'université de cette ville. D'après les notes que prit un étudiant aux cours de Black, celui-ci plaçait les «Elémens» de Macquer parmi les livres «les plus nécessaires», ajoutant que «l'ouvrage contient un exposé clair et concis de tout ce qui a trait à la chimie». L'auteur a démontré ailleurs [3] que Black recommandait ce livre aux étudiants dès l'année universitaire 1767–68. Les Elémens ont aussi été traduits en allemand, en néerlandais et en russe.

Cependant c'est grâce à son «Dictionnaire de chymie» (Paris, 1766, 2 vols., in-8°), le premier du genre, que l'on se souviendra de Macquer. En dépit du fait qu'il était un auteur bien connu, la première édition du Dictionnaire est anonyme. L'ouvrage comptait près de 1300 pages, mais c'était plutôt un compendium de la science chimique qu'un dictionnaire, composé de 500 articles disposés en ordre alphabétique. La première édition française fut réimprimée en 1769, une édition suisse en 3 volumes ayant paru entretemps (1767). James Keir (1735–1820) en fit une traduction anglaise (Londres, 1771), en deux volumes, dont une deuxième édition parut en 1777 en trois volumes avec, en appendice, un traité sur les divers genres de fluides ou de gaz ayant une élasticité permanente. Il y eut par la suite des éditions allemandes, danoises et italiennes. Une autre édition suisse parut à Neuchâtel en 1789, en cinq volumes, le cinquième étant un supplément contenant les derniers progrès.

Une deuxième édition vit le jour à Paris en 1778. Il est à signaler cependant qu'une édition, donnée comme étant la deuxième, avait paru en trois volumes en 1777. L'édition de 1778 parut en deux formats: in-8° (quatre volumes) et in-4° (deux beaux volumes). Ceux-ci sortaient de l'imprimerie dite «de Monsieur» parce qu'elle bénéficiait du patronage du comte de Provence, frère cadet de Louis XVI. Cette dernière édition est demeurée la plus belle de toutes les œuvres parues sur la chimie; elle est très appréciée des bibliophiles. La figure 2 en montre la moitié supérieure de la première page du texte, illustrée d'une gravure de «L'Alchimiste» de Teniers. Les deux volumes comptent environ 1600 pages dont un index qui occupe 200 pages de deux colonnes. Ceci est indispensable, car, bien que l'œuvre s'intitule dictionnaire, il s'agit bel et bien d'une encyclopédie.

Quand on compare les éditions françaises de 1766 et 1778, on constate que celui-ci contient bon nombre d'articles nouveaux à côté des anciens considérablement développés, comme l'exigeaient les progrès survenus entre ces deux années. Pour donner une idée de cette révolution chimique rappelons que c'est en 1766 que Cavendish isola et identifia «l'air inflammable» (l'hydrogène), et la découverte des gaz avait ouvert le champ tout nouveau de la chimie dite «pneumatique» où Priestley notamment se distinguait. La deuxième édition comporte donc près de cinquante articles nouveaux outre les additions à ceux de la première.

Dans une œuvre de ce genre il y a certains articles vers lesquels l'attention de l'historien de la chimie est naturellement portée: celui, par exemple, qui a trait aux éléments chimiques. Déjà en 1766 un propos de Macquer donne une note étrangement moderne: «On donne, dit-il, en Chymie le nom d'élémens aux corps qui sont d'une telle simplicité, que tous les efforts de l'art sont insuffisans pour les décomposer, & même pour leur causer aucune espèce d'altération; & qui d'une autre part, entrent comme principes, ou parties constituantes, dans la combinaison des autres corps, qu'on nomme pour cette raison corps composés.» Cependant la phrase qui suit révèle au lecteur que Macquer pense à la théorie des quatre éléments: «Les corps auxquels on a reconnu cette simplicité sont le feu, l'air, l'eau & la terre la plus pure; parcequ'en effet les analyses les plus complettes & les plus exactes, qu'on ait pu faire jusqu'à présent, n'ont jamais produit autre chose en dernier ressort que les unes ou les autres de ces quatre substances, ou toutes les quatre suivant la nature des corps qui ont été décomposés. Il est très possible que ces substances, quoique réputées simples, ne le soient pas, qu'elles soient même très composées, & qu'elles résultent de l'union de plusieurs autres substances plus simples. Mais comme l'expérience n'apprend absolument rien sur cela, on peut sans aucun inconvénient, on doit même regarder en Chymie le feu, l'air, l'eau & la terre, comme des corps simples; parcequ'en effet ils agissent comme tels dans toutes les opérations de cet art». En somme, Macquer continue à faire état de la théorie des quatre éléments, faute de

connaissances plus exactes, tout en utilisant la définition d'un élément chimique donnée par Boyle.

L'article sur l'alchimie n'est pas long et peut être cité ici entièrement: «Ce terme a été employé par les prétendus *Adeptes*, & par les chercheurs de *Pierre Philosophale*, pour désigner la Chymie par excellence, dont ils se flattent que la connoissance est réservée à eux seuls. Les Adeptes regardent la Chymie comme une science vulgaire, qui contient à peine les premiers Élémens de la science mystérieuse de l'Alchymie; mais jusqu'à présent ils n'ont rien produit qui, au jugement des personnes sensées, puisse donner le moindre fondement à une pareille prétention. Les vrais Chymistes regardent l'Alchymie comme une science imaginaire, & ceux qui s'y adonnent comme des gens qui, faute d'être suffisamment instruits, quittent la réalité pour courir après l'ombre.» Ceci mène au mot «adepte» défini comme suit: «C'est le nom que se donnent les Alchymistes, qui prétendent avoir trouvé le secret de la pierre philosophale. *Voy.* Pierre Philosophale.» A l'article indiqué on lit: «C'est le nom que les Alchymistes ont donné à la préparation par le moyen de laquelle on peut transmuer les métaux, faire de l'or & de l'argent, opérer en un mot toutes les merveilles du grand Œuvre.» Ces citations mettent en évidence l'opinion de Macquer sur les alchimistes.

Passant aux articles qui se rapportent à la controverse entre les tenants de la théorie du phlogiston et ceux de la chimie nouvelle mise au jour par Lavoisier, nous voyons que Macquer a trouvé une voie médiane. Il ne veut pas rejeter la théorie acceptée, à savoir, qu'au cours de la combustion et la calcination des corps, il y a libération de phlogiston. Et pourtant il lui faut accepter l'expérience probante de Lavoisier d'après laquelle l'augmentation de poids constatée dans les métaux après calcination est due à leur combinaison avec une partie de l'air. Macquer continua donc d'affirmer que la combustion et la calcination libéraient du phlogiston, qui était selon lui la matière de la lumière; mais que la diminution de poids qu'il admettait devoir se produire était plus que compensée par la combinaison qui avait lieu en même temps avec l'air. Ceci s'écartait considérablement de la théorie primitive du phlogiston, ainsi que de la variante reçue à l'époque de Macquer. Lavoisier eut à exercer toute sa perspicacité et sa science de l'expérimentation pour réfuter un compromis qui reliait ainsi deux théories.

Tout ce que Macquer enseignait ou écrivait était notoirement clair et logique, et il avait la réputation de ne jamais accepter les hypothèses qui dépassaient les faits constatés. C'est donc regrettable qu'il se soit mis à rédiger son grand dictionnaire au moment où la chimie était en pleine période de transition. L'étude attentive de son œuvre mène à la conclusion que s'il n'était pas mort avant que la révolution se soit accomplie, il aurait sans doute fait siennes les idées nouvelles. Son œuvre en tant que lexicographe de la chimie est appelée néanmoins à durer, comme toute œuvre de génie. Son dictionnaire fut le premier du genre et fournit le modèle de tous ceux qui suivirent: c'est lui qui inspira le dictionnaire de Nicholson (Londres, 2 vols., 1795), le premier à être rédigé en Grande-Bretagne, et tous ceux qui parurent ultérieurement dans ce pays ont été faits sur le même modèle.

Macquer s'intéressait beaucoup aux applications de la chimie. C'est grâce à sa compétence bien connue en ces matières qu'il fut appelé en 1766 à succéder à Hellot à la direction de la manufacture royale de porcelaine, à Sèvres, et de l'industrie des matières colorantes. Il participa également, aux côtés de Lavoisier entre autres, à la recherche, entreprise pour le compte de l'Etat, de moyens d'améliorer et d'accroître la production de salpêtre pour la fabrication de la poudre à canon. Il collabora avec le même Lavoisier à l'étude de la combustion du diamant, ayant antérieurement remarqué que celui-ci en brûlant dégageait une petite flamme. Il avait aussi observé que la combustion de «l'air inflammable» près d'une surface froide y déposait des gouttelettes d'un liquide qui semblait être de l'eau.

Ses dernières années furent accablées par une maladie dont, étant médecin, il reconnaissait la gravité tout en la dissimulant sous son calme habituel. Il mourut subitement à Paris le 15 février 1784.

BIBLIOGRAPHIE

[1] McKie, D. *Nature, Lond.*, **163**, 627, 1949.
[2] *Idem. Endeavour*, **12**, 130, 1953.
[3] *Idem. Ann. Sci.*, **1**, 102, 1936.

Les spermatozoïdes des mammifères

par M. W. H. BISHOP et C. R. AUSTIN

De nombreuses branches de la recherche scientifique ont contribué à notre connaissance maintenant considérable mais encore incomplète du spermatozoïde et de ses fonctions. C'est une cellule très spécialisée qui ne peut ni se développer ni se diviser, essentiellement formée d'un noyau condensé et munie de moyens de locomotion et de pénétration dans l'œuf; sa seule fonction est d'assurer la production de nouveaux individus de l'espèce.

Il y a environ 280 ans, Johan Hamm d'Arnhem vit des spermatozoïdes dans le sperme humain et communiqua sa découverte à l'éminent microscopiste du dix-septième siècle Anton van Leeuwenhoek. En quelques années, Leeuwenhoek et d'autres auteurs découvrirent des spermatozoïdes dans le sperme de nombreux animaux, mais pendant près de 200 ans leur nature et leur fonction sont restées l'objet de vives discussions. On les considérait comme étant des structures provenant de putréfactions ou d'actions chimiques, ou comme des parasites ou des infusoires fortuits, ou encore comme des corps spécialisés dont le rôle serait simplement de mettre le sperme en mouvement ou de stimuler le désir du mâle. Enfin, certains le considéraient comme la semence qui donnerait naissance au futur embryon, et Leeuwenhoek était de ce nombre: il pensait que le spermatozoïde se transformait en embryon après nidation dans l'œuf.

Les microscopes dont disposait Leeuwenhoek étaient grossiers par rapport à nos types actuels, de sorte que les premières figurations de spermatozoïdes sont souvent bizarres (figure 6). Selon certains observateurs on pouvait y voir un canal alimentaire (figure 1) et d'autres organes; on y a même observé et représenté des embryons minuscules complets ou homunculi (figure 2). Vers 1890, le microscope optique avait atteint une perfection que l'on peut difficilement améliorer de nos jours et, notamment, Ballowitz et Retzius pouvaient entreprendre de minutieuses recherches sur la morphologie du spermatozoïde (figures 3–5). Dans les années récentes, nos connaissances sur la nature et les fonctions du spermatozoïde se sont rapidement développées grâce aux nouvelles méthodes de microscopie.

MORPHOLOGIE ET PHYSIOLOGIE DU SPERMATOZOÏDE

La fonction du spermatozoïde est de provoquer le développement de l'œuf et de fournir le matériel héréditaire paternel et peut-être aussi d'autres constituants importants ou essentiels du nouvel embryon. Il doit donc d'abord atteindre l'œuf, puis y pénétrer. Il n'est pas surprenant qu'avec une si formidable tâche à accomplir le spermatozoïde soit une cellule complexe et hautement spécialisée. Il est formé dans les tubules des testicules à partir des cellules-mères de spermatozoïdes par division cellulaire et différenciation, phénomènes au cours desquels le nombre chromosomique caractéristique de l'espèce se trouve réduit de moitié.

Le spermatozoïde mûr est une petite cellule très condensée, avec deux parties principales: la tête et la queue. Son indice de réfraction suggère qu'il contient seulement environ 50% d'eau [3] (l'eau forme de 80 à 90 pour cent de la plupart des cellules). Le volume du spermatozoïde de taureau est seulement environ un vingt-millième de celui de l'œuf, cellule qui lui est équivalente dans sa signification héréditaire. Contrairement aux œufs, les spermatozoïdes sont produits en quantités prodigieuses. Une éjaculation moyenne de taureau contient environ cinq milliards de spermatozoïdes, ce qui est suffisant pour inséminer efficacement au moins 500 vaches.

Le noyau. Le principal constituant de la tête est le noyau (figures 51 et 52). Il est composé de chromatine agglomérée de telle sorte qu'il est difficile de la dissocier par des moyens physiques; il donne les réactions de coloration caractéristiques de l'acide désoxyribonucléique (ADN) et absorbe fortement les radiations ultra-violettes (figures 36–41). Dans les spermatozoïdes de taureau, 43 pour cent environ de la chromatine est de l'ADN [16]. Les 57 pour cent qui restent sont des protéines dont l'aminoacide arginine constitue environ la moitié. L'ADN est présent dans le noyau du spermatozoïde en quantité égale à la moitié de celle d'un noyau somatique normal de l'espèce

considérée et l'on pense actuellement que l'information génétique apportée par le spermatozoïde est en quelque sorte stockée dans la structure des molécules d'ADN. La chromatine paraît agrégée d'une manière plus dense dans la partie postérieure du noyau, mais, ceci mis à part, sa distribution est homogène: même la microscopie électronique faite sur des coupes très minces (0,02 μ) de noyaux de spermatozoïdes n'a pu jusqu'ici révéler la présence de chromosomes.

Chez les mammifères, les propriétés héréditaires du noyau du spermatozoïde comportent la détermination du sexe de l'embryon. Les chromosomes X et Y réunis dans la cellule somatique du mammifère mâle se trouvent séparés au cours du développement du spermatozoïde et il s'en forme de deux sortes; certains portent le chromosome X et donneront des embryons femelles, d'autres le chromosome Y et donneront des mâles. On a fait de nombreux essais pour identifier les spermatozoïdes X et Y par des mesures de taille nucléaire et pour les séparer par des moyens physiques et chimiques, mais il est douteux qu'on ait jamais obtenu un résultat quelconque. On a aussi tenté de détruire la chromatine des spermatozoïdes par les rayons X ou des traitements chimiques, en laissant par ailleurs le spermatozoïde intact. De tels spermatozoïdes sont capables d'induire le développement d'embryons bien qu'ils ne puissent transmettre de matériel génétique actif. Les embryons produits devraient alors être des femelles, mais cette méthode, efficace chez certains amphibiens, n'a pas été jusqu'ici couronnée de succès chez les mammifères.

Dans les spermatozoïdes de quelques rongeurs il existe un mince filament qui s'étend du noyau jusqu'à l'apex en crochet de la tête (figures 48 et 52). Ce filament qui ne contient pas d'ADN paraît être une extension épaissie de la membrane nucléaire [10]; il peut servir de structure de soutien pour l'acrosome (voir ci-dessous), mais on ne le trouve pas dans les spermatozoïdes des rongeurs de la famille des *Microtinae* [13], comme le campagnol, qui ont aussi des têtes en forme de crochet et sa signification n'est pas claire.

L'acrosome. Les stades finaux de la spermatogenèse comportent la différenciation de la spermatide en spermatozoïde. Au cours de ce phénomène l'appareil de Golgi de la spermatide participe à la formation d'une sorte de calotte, l'acrosome, qui coiffe la surface antérieure du noyau. Dans les spermatozoïdes mûrs l'acrosome varie beaucoup de taille et de forme entre les différentes espèces, mais sa présence universelle à la surface antérieure de la cellule a depuis de nombreuses années suggéré qu'il joue un rôle dans la pénétration des barrières entourant l'œuf. Beaucoup des premiers chercheurs pensaient que l'acrosome perçait mécaniquement les membranes de l'œuf; d'ailleurs la forme en faucille des têtes des spermatozoïdes de quelques rongeurs s'accordait bien avec cette interprétation. On rejette cependant depuis longtemps l'hypothèse d'une simple fonction mécanique et on regarde maintenant l'acrosome comme fournissant probablement une surface capable d'adhérer à l'œuf et de fournir les enzymes qui permettent au spermatozoïde d'entrer dans l'œuf. La preuve de ces phénomènes est encore fragmentaire chez les mammifères; mais on a démontré des fonctions analogues de l'acrosome pour les spermatozoïdes de certains invertébrés [11]. Une indication que l'acrosome des mammifères joue un rôle vital dans la fécondation réside dans le fait que les spermatozoïdes de taureau présentant une difformité héréditaire de cette structure (figure 55), mais d'autre part normaux, sont complètement stériles [14].

Pour différentes raisons, mais particulièrement à la suite d'études sur la spermatogenèse, il semble que l'acrosome soit une structure double, comportant une calotte externe et une interne (figures 51, 52 et 54). Les deux calottes diffèrent légèrement dans leurs réactions de coloration, mais les deux donnent une réaction positive avec la réaction acide périodique-Schiff (PAS) (figure 49) et l'on suppose donc qu'elles contiennent un polysaccharide, peut-être sous la forme d'un mucopolysaccharide. L'acrosome réagit aussi d'une manière caractéristique au Giemsa, en montrant souvent une partie postérieure plus claire (figures 42–45). On appelle souvent celle-ci segment équatorial et l'on croit qu'elle représente la région où la calotte externe de l'acrosome dépasse la calotte interne [15]. La bordure postérieure de la calotte externe de l'acrosome correspond aussi à la bordure antérieure de la calotte post-nucléaire, couche cytoplasmique qui recouvre la partie postérieure de la surface du noyau et qui, dans quelques espèces au moins, peut se révéler grâce à ses propriétés argentophiles (figures 46 et 47).

Les récents progrès de la microscopie en fluorescence ont beaucoup facilité l'étude de l'acrosome dans les spermatozoïdes vivants [7]. La technique est simple: les spermatozoïdes sont traités avec une faible concentration d'orange d'acridine et examinés en lumière ultra-violette. Dans ces conditions les acrosomes des spermatozoïdes vivants frais donnent des images fluorescentes

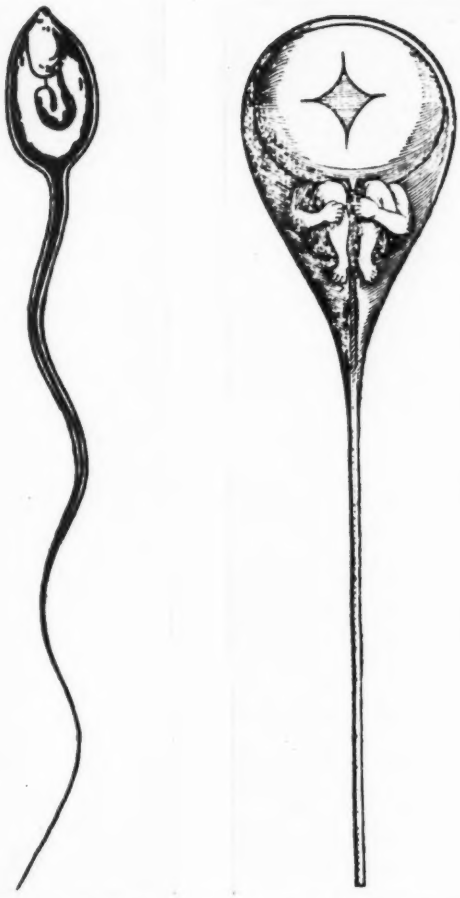
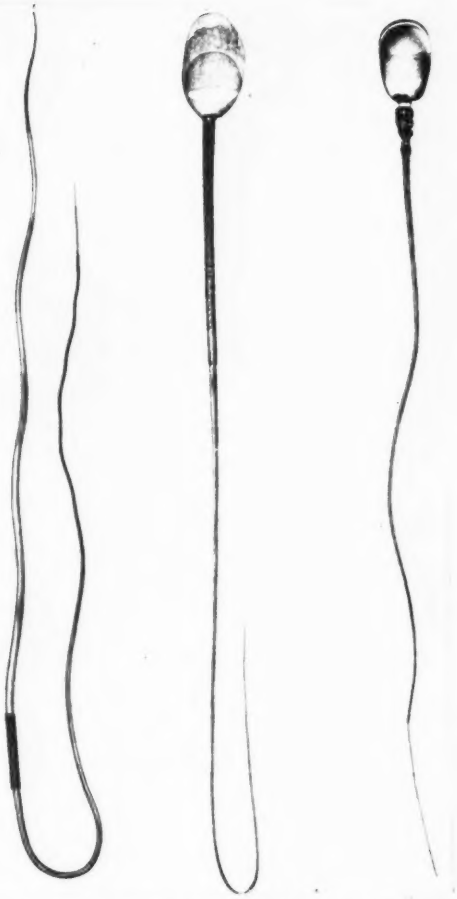


FIGURE 1 (*en haut, à gauche*) – *Dessin de Pouchet* (*retouché*) *de spermatozoïde humain. Il croyait que la tête contenait un canal alimentaire simple.* (*D'après* «Théorie positive de l'ovulation spontanée et de la fécondation des mammifères et de l'espèce humaine». *Paris*, 1847.)



FIGURES 3–5 – *Dessins de Retzius* (1906 *et* 1909) *de spermatozoïdes d'échidné, de taupe et de baleine pilote respectivement.* (Biol. Untersuch., N.F. **13** *et* **14**.)

FIGURE 2 (*en haut, à droite*) – *Spermatozoïde humain suivant Hartsoeker, montrant un homunculus dans la tête. On pensait que la queue du spermatozoïde contenait le cordon ombilical.* (*D'après* Essay de dioptrique. *Paris*, 1694.)

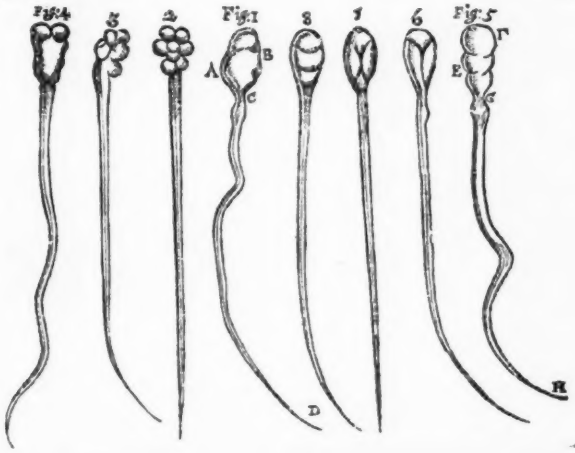


FIGURE 6 – *Spermatozoïdes de lapin* (*Nos.* 1–4) *et de chien* (*Nos.* 5–8) *dessinés par Leeuwenhoek.* (Phil. Trans., **12**, 1040, 1679.)

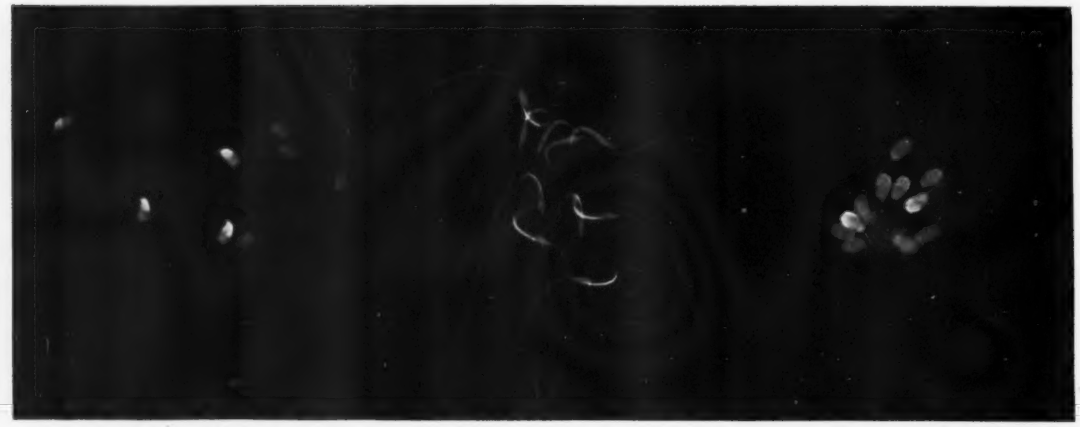


FIGURE 7 – «*Cotton rat*» (Sigmodon hispidus).

FIGURE 8 – *Rat albinos.*

FIGURE 9 – *Lapin.*

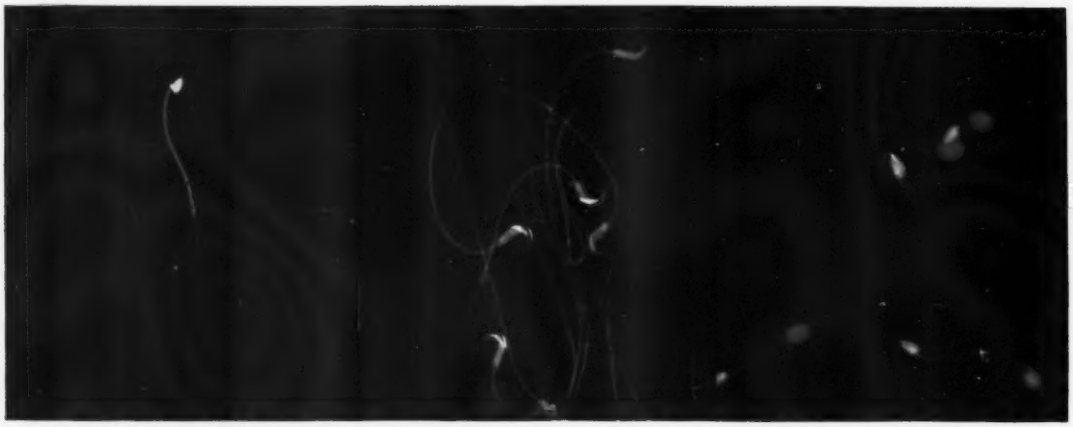


FIGURE 10 – *Mérione lybienne.*

FIGURE 11 – *Hamster doré.*

FIGURE 12 – *Campagnol.*

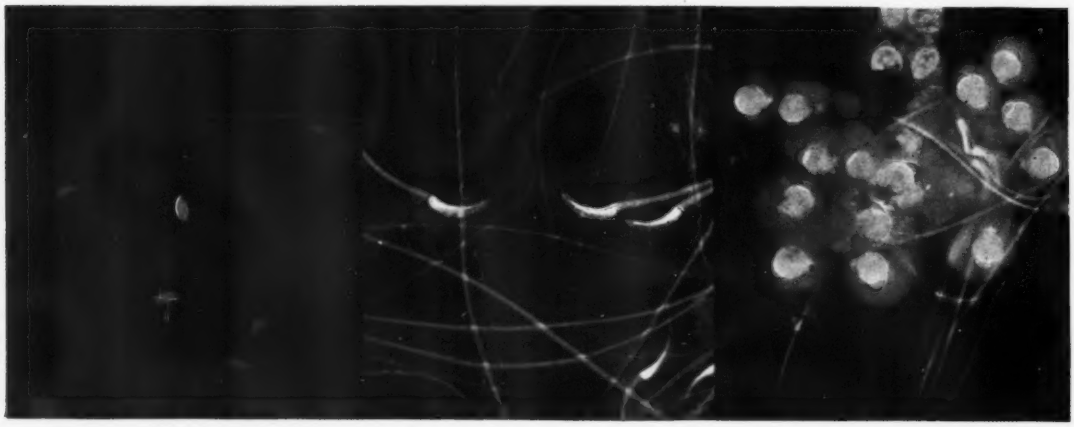


FIGURE 13 – *Souris commune.*

FIGURE 14 – *Hamster chinois.*

FIGURE 15 – *Spermatides de Hamster chinois.*

FIGURES 7–15 – *Spermatozoïdes vivants de mammifères et spermatides traités par l'orange d'acridine et photographiés en lumière ultra-violette.* (× 660)

rouge brillant aux endroits où ils dépassent le noyau et des images jaunes ou vert jaunâtre où ils recouvrent le noyau (figures 7–14 et 16). Les noyaux, là où ils ne sont pas recouverts par l'acrosome, apparaissent vert brillant. La méthode donne des résultats spectaculaires avec les spermatozoïdes de rongeurs, particulièrement ceux qui possèdent de grands acrosomes, mais elle réussit moins bien avec les spermatozoïdes de lapin ou de taureau où l'acrosome est plutôt petit. On n'a pas encore établi la signification de la fluorescence polychromatique obtenue, mais de récents travaux où l'on a utilisé des techniques analogues sur différents types de tissus ont montré que les structures contenant de l'ADN donnent une fluorescence verte avec l'orange d'acridine, alors que celles contenant de l'acide ribonucléique (ARN) donnent une fluorescence rouge [1, 4]. Il est cependant très peu probable que l'acrosome contienne des quantités appréciables d'ARN, car il ne prend pas la pyronine [12] et montre une absorption négligeable des radiations ultra-violettes (figures 36–41). De plus, l'analyse chimique des spermatozoïdes mûrs révèle qu'ils se caractérisent par l'absence d'ARN [5], déficience de nature à limiter leur capacité de synthèse. Une propriété du matériel responsable de la fluorescence rouge de l'acrosome est cependant bien claire. C'est la facilité avec laquelle elle quitte le spermatozoïde par lavage, séchage ou conservation *in vitro* à la température de la chambre (comparer les figures 16 et 17). La perte de ce matériel peut expliquer les résultats variables que l'on obtient souvent avec des méthodes plus classiques de mise en évidence de l'acrosome. La faculté de l'acrosome à montrer une fluorescence rouge se perd aussi dans le tractus génital femelle; ceci se produit avant la mort du spermatozoïde et on peut le mettre en rapport avec la perte de fertilité.

Alors que le spermatozoïde total est remarquablement résistant à la déformation et à la désintégration, l'acrosome est une structure relativement fragile, manifestant rapidement des modifications de dégénérescence quand on la soumet à des conditions défavorables. Ces modifications ont souvent trompé les chercheurs dans leurs interprétations de structure.

La queue et la motilité. La queue est naturellement l'organe propulsif du spermatozoïde et elle pousse la cellule grâce à la propagation d'ondes de courbure à deux dimensions qui parcourent sa longueur en direction distale. C'est un long flagelle (40–250 μ) différencié en quatre régions; le collet, la pièce intermédiaire, la pièce principale et la pièce terminale. Durant le développement, le rudiment de queue a l'aspect d'un mince filament formé à partir des centrioles de la spermatide et, même à un stade très jeune, montre des mouvements ondulatoires dont les centrioles paraissent être l'origine.

Le collet est la partie antérieure relativement courte de la queue; on sait peu de chose sur sa structure détaillée. On trouve dans ce collet, mais manifestement enrobés dans la base du noyau, les granules basaux. Certaines techniques montrent dans cette région trois granules (figure 44), mais d'autres seulement deux (figure 50). Une explication possible serait qu'il existe en fait trois granules dont deux diffèrent par certaines propriétés du troisième, ou encore que le nombre diffère entre les différentes espèces. La microscopie en fluorescence après coloration à la rhodamine révèle souvent deux granules à la base de la tête des spermatozoïdes de rongeurs capables de mouvement, mais quand ils perdent leur motilité les granules perdent leur fluorescence [7].

Une partie axiale de vingt fibres distinctes court depuis le collet jusqu'à l'extrémité de la queue. On connaît l'existence de ces fibres depuis près de 70 ans mais ce n'est que récemment que la microscopie électronique a pu révéler leur nombre et leur disposition précise dans la queue. On sait maintenant que la partie axiale comporte deux fibres centrales entourées de neuf fibres de diamètre identique. Celles-ci à leur tour sont entourées d'une autre couche de neuf fibres plus épaisses (figures 56 et 58) [9]. Il existe de bonnes raisons de penser que les fibres sont droites le long de la queue et non tordues autour de l'axe. Elles paraissent assemblées en trois, peut-être seulement deux, faisceaux dans le collet.

La pièce intermédiaire est caractérisée par la présence d'une double hélice mitochondriale entourant la partie axiale. Cette hélice est à la limite de résolution en microscopie ultra-violette et la microscopie électronique permet de la montrer clairement (figure 57). Elle résulte de la coalescence des mitochondries de la spermatide.

La pièce principale est la plus longue partie de la queue et elle constitue l'élément propulsif principal. Dans cette région la partie axiale est entourée d'une couche résistante de protéines disposées en hélice, de chaque côté de laquelle court un petit ruban ou nageoire [9]. Elle ne contient pas de mitochondries. La queue se termine par une courte pièce terminale distale (3–10 μ) non entourée par une couche hélicoïdale.

J. R. G. Bradfield a discuté récemment le mécanisme possible de la production du mouvement caractéristique de la queue [9]. D'après leur calibre et leur position, on pense que les neuf fibres de la couche externe sont les principaux éléments contractiles capables de propager des contractions localisées sur leur longueur. La couche de protéines en hélice, ainsi qu'une matrice située entre les fibres, constituent probablement la structure squelettique servant d'appui aux fibres contractiles. Les fibres internes pourraient être spécialisées dans la conduction rapide des influx qui naîtraient rythmiquement dans le collet, coordonnant ainsi les contractions localisées des fibres externes. On peut cependant noter au passage qu'on pourrait avancer une explication plus simple si les fibres présentaient une torsion autour de l'axe de la queue au lieu de courir parallèlement à cet axe, comme on le croit actuellement. On ne possède pas de preuve de l'existence d'un appareil contractile dans les mitochondries et il est probable qu'elles ne jouent un rôle que dans la fourniture d'énergie. En fait, étant donnés la localisation connue des systèmes enzymatiques dans les mitochondries et le rôle que ces organites jouent dans la synthèse des composés phosphatés à haute valeur énergétique, on regarde généralement la pièce intermédiaire comme la principale réserve d'énergie du spermatozoïde, bien que les enzymes glycolytiques puissent se trouver dans la matrice entre les fibres. On sait que la queue contient tous les organes nécessaires à la motilité puisque des queues séparées de la tête sont encore capables de mouvement.

Les spermatozoïdes restent au repos tant qu'ils sont à l'intérieur de l'épididyme mais ils deviennent mobiles à l'éjaculation (ou quand on les retire de l'épididyme). Le principal facteur activant paraît être l'augmentation du taux d'oxygène disponible. La vitesse de translation du mouvement *in vitro* varie avec la nature du milieu de suspension et la température; elle est de l'ordre de 100 μ par seconde à la température du corps. Les spermatozoïdes tendent à s'orienter contre un courant, ceci constituant leur position de plus grande stabilité mécanique. D'autre part, on ne possède aucune preuve que la direction de nage soit influencée par des gradients chimiques et il se peut que l'approche du spermatozoïde de mammifère vers l'œuf ne soit pas guidée par chimiotaxie.

On pourrait supposer que la motilité a pour but de rendre le spermatozoïde capable de remonter le tractus génital femelle jusqu'au lieu de fécondation dans la trompe de Fallope; mais il ne paraît pas en être ainsi. En effet, dans plusieurs espèces on sait que les spermatozoïdes atteignent ce lieu beaucoup plus rapidement qu'ils ne pourraient le faire par leurs propres mouvements. Il faut presque certainement attribuer leur transport le long du tractus aux contractions musculaires des parois et aux courants produits par les cils qui bordent ces parois. La principale fonction de la motilité semble donc d'aider le spermatozoïde à passer à travers les barrières qui entourent l'œuf.

Le globule cytoplasmique. La majeure partie du cytoplasme de la spermatide se trouve éliminée de la cellule au cours de la spermatogenèse, mais une petite gouttelette, le globule cytoplasmique, reste provisoirement attachée au collet du spermatozoïde. Au cours du passage par l'épididyme, ce globule migre du collet vers la partie distale de la pièce intermédiaire et en même temps le spermatozoïde devient fertile et capable de mouvement. A l'éjaculation, le globule se détache habituellement du spermatozoïde.

La fonction du globule cytoplasmique reste une des principales énigmes de l'histoire du spermatozoïde. Sa présence constante dans les spermatozoïdes qui quittent le testicule, sa taille et sa forme caractéristiques et sa migration ordonnée le long de la pièce intermédiaire montrent qu'il ne s'agit pas seulement d'un reste accidentel de matériel inutile. Pourtant sa perte au moment de l'éjaculation montre que sa fonction ne doit concerner que la physiologie du spermatozoïde à l'intérieur du tractus mâle. Ceci suggère qu'il peut jouer un rôle dans la maturation ou dans le maintien de la cellule à l'état de repos pendant une période beaucoup plus longue que celle que l'on peut réaliser à une température analogue à l'extérieur de l'épididyme.

La membrane externe. La membrane externe du spermatozoïde est formée d'un complexe lipoprotéique et l'on peut en extraire facilement des phospholipides par lavage dans des solutions salines. La surface de la tête, ou même seulement la partie recouverte par l'acrosome, est sérologiquement distincte de la surface de la queue et cette différence a probablement une signification dans la fécondation. Quand la cellule meurt la perméabilité de la membrane augmente beaucoup et l'on a tiré avantage de ce fait pour mettre au point des colorations qui permettent de distinguer les spermatozoïdes vivants des morts (figure 18). La surface de la cellule morte possède aussi une forte affinité pour le verre et l'on peut

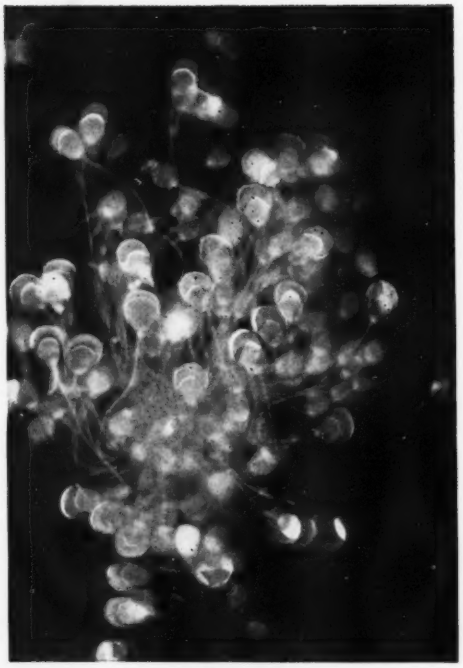


Figure 16

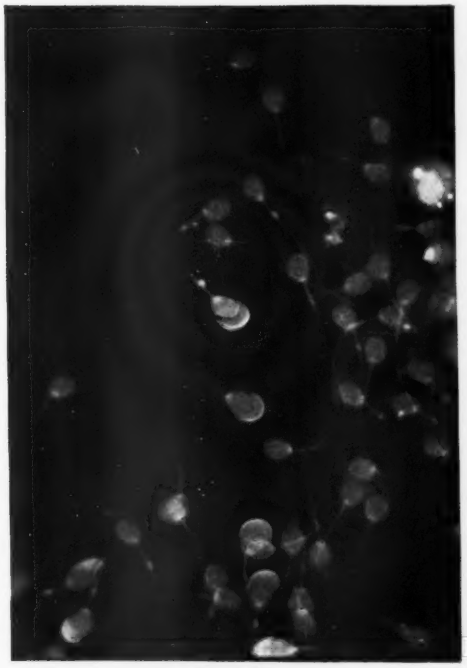


Figure 17

Figure 18

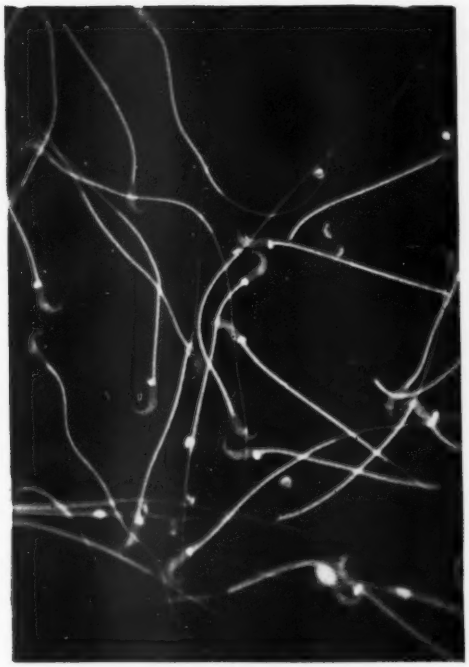


Figure 19

FIGURES 16 et 17 – *Spermatozoïdes de cobaye fluorescents en lumière ultra-violette après traitement à l'orange d'acridine. Ceux de la figure* 16 *ont été photographiés aussitôt après récolte; ceux de la figure* 17 *après temps de conservation* in vitro. (× 660)

FIGURE 18 – *Fluorescence différentielle montrée par les spermatozoïdes de rat vivants (jaunes) et morts (bleus), traités par un mélange de primuline et de rhodamine B et examinés en lumière ultra-violette.* (× 660)

FIGURE 19 – *Spermatozoïdes de hamster doré traités à la rhodamine* 6G *et examinés en lumière ultra-violette. Les corps fluorescents à la base des têtes sont interprétés comme étant les granules basaux.* (× 660)

FIGURE 20 – *Chat marsupial.*

FIGURE 21 – *Bandicoot* (Perameles nasuta).

FIGURE 22 – *Grand Rhinolophe.*

FIGURE 23 – Campagnol.

FIGURE 24 – «*Cotton rat*» (Sigmodon hispidus).

FIGURE 25 – *Hamster doré.*

FIGURE 26 – *Hamster chinois.*

FIGURE 27 – *Mérione lybienne.*

FIGURE 28 – *Souris de Barbarie.*

FIGURE 29 – *Rat albinos.*

FIGURE 30 – *Rat à mamelles multiples.*

FIGURE 31 – *Furet.*

FIGURE 32 – *Chat.*

FIGURE 33 – *Bouc.*

FIGURE 34 – *Galago.*

FIGURE 35 – *Homme.*

FIGURES 20–35 – *Têtes de spermatozoïdes vivants de mammifères vues en contraste de phase.* (× 2000)

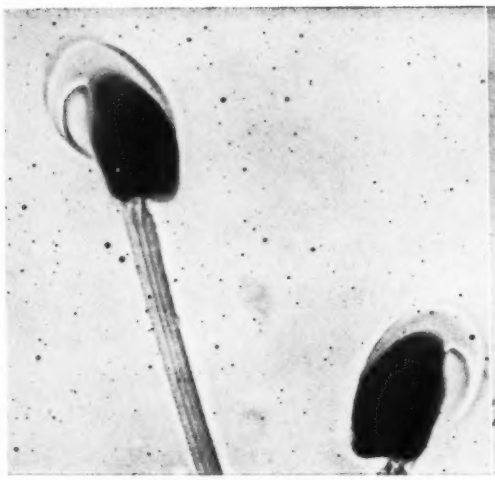


FIGURE 36 – «*Cotton rat*».

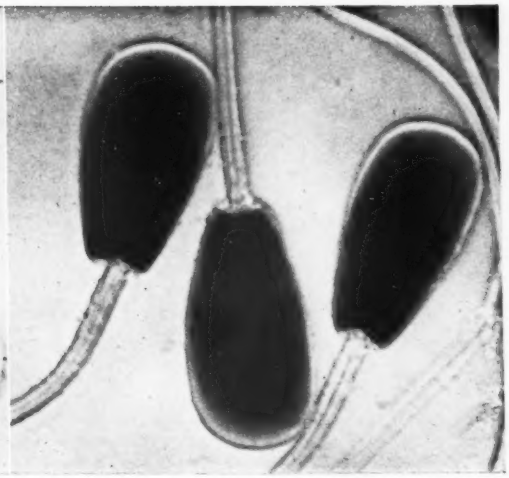


FIGURE 37 – *Taureau.*

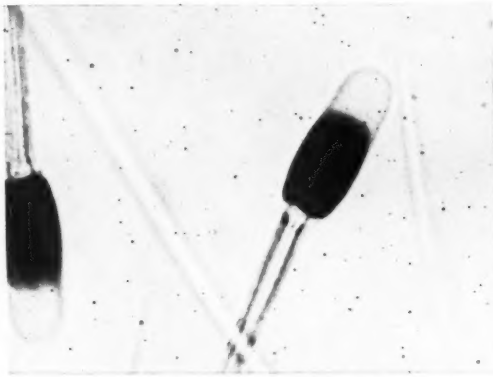


FIGURE 38 – *Grand Rhinolophe.*

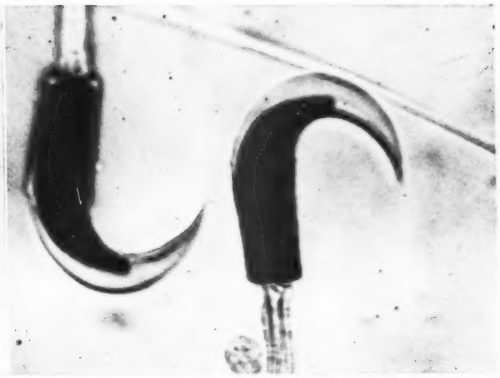


FIGURE 39 – *Hamster doré.*

FIGURE 40 – *Rat albinos.*

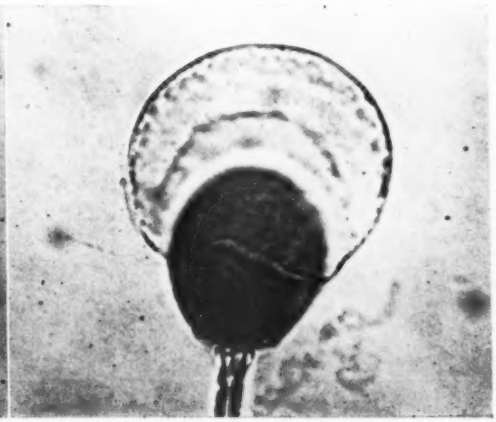


FIGURE 41 – *Cobaye.*

FIGURES 36–41 – *Microphotographies dans l'ultra-violet de têtes de spermatozoïdes de mammifères vivants, montrant la forte absorption des radiations par l'acide nucléique du noyau.* (× 4000 *environ.*) *Figure* 37 *d'après* J. exp. Biol., **29**, 445, 1952.)

FIGURE 42 – *Hamster doré* (*Giemsa;* × 2900).

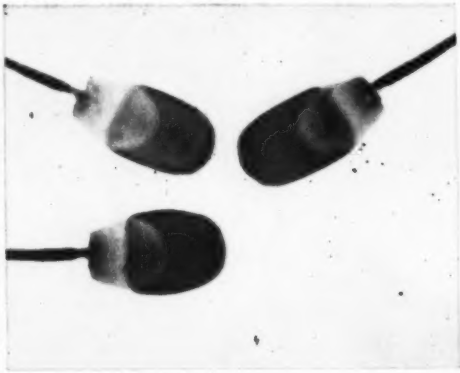


FIGURE 43 – *Verrat* (*Giemsa;* × 2800).

FIGURE 44 – *Taureau* (*Giemsa;* × 2400).

FIGURE 45 – *Cobaye* (*Giemsa;* × 2200).

FIGURE 46 – *Cobaye* (*imprégnation argentique;* × 2200).

FIGURE 47 – *Taureau* (*imprégnation argentique;* × 2400).

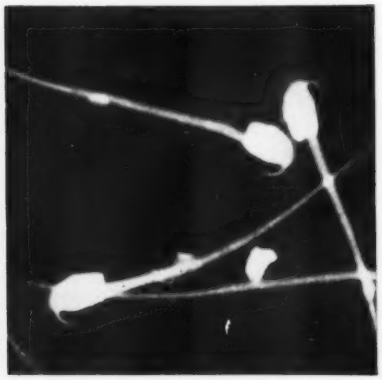


FIGURE 48 – «*Cotton rat*» (*primuline;* × 1400).

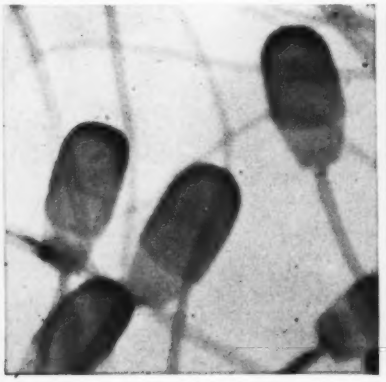


FIGURE 49 – *Verrat* (*PAS;* × 2800).

FIGURE 50 – *Souris commune* (*Rhodamine 6G;* × 1200).

FIGURES 42–50 – *Microphotographies de préparations colorées de spermatozoïdes de mammifères, montrant l'acrosome, le filament antérieur, le segment équatorial, la calotte post-nucléaire et les granules basaux.* (*Figure* 49 *sous presse*, J. R. micr. Soc.)

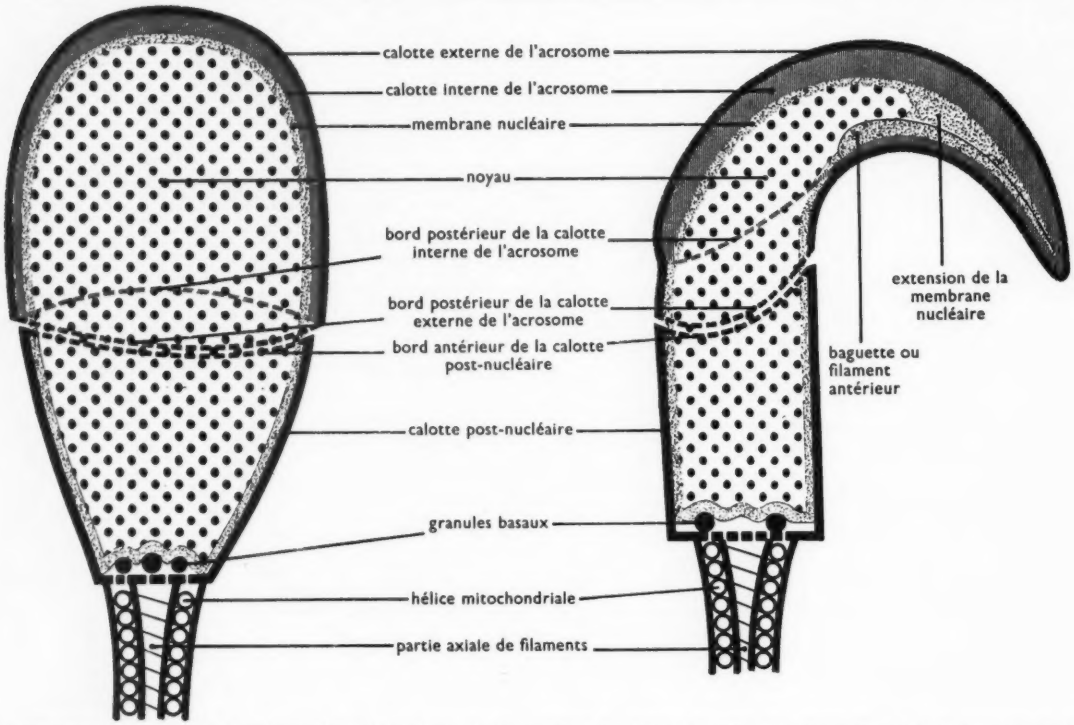
rapidement séparer les spermatozoïdes vivants des morts par filtration à travers une couche de fines perles de verre [2].

Différences spécifiques de taille et de forme. Bien que les spermatozoïdes de mammifères soient tous construits sur un schéma commun, il existe entre les espèces des différences de taille et de proportions très caractéristiques. Il est en fait possible d'identifier un animal par le seul examen de ses spermatozoïdes. La taille de la cellule bien que caractéristique de l'espèce ne varie pas beaucoup et ne présente aucune corrélation avec la taille de l'animal considéré; mais les différences interspécifiques dans les tailles relatives de la tête et de la pièce intermédiaire par rapport à la taille totale du spermatozoïde sont particulièrement notables. La surface projetée de la tête d'un spermatozoïde de cobaye par exemple est près de cinq fois celle du spermatozoïde humain bien que le spermatozoïde de cobaye ne soit guère que deux fois plus long que celui de l'homme. La pièce intermédiaire du spermatozoïde du rat constitue environ 40% de la longueur totale de la queue, tandis que celle du spermatozoïde de l'homme n'en représente que 10% (comparer les figures 4 et 5). Les différences dans la forme de la tête sont encore plus frappantes. Chez la plupart des gros animaux cette tête est plus ou moins ovale et aplatie. Chez l'homme (figure 35) elle est ovale en vue plane mais en forme de poire en coupe sagittale. Chez beaucoup de rongeurs (figures 23–30) elle est asymétrique et souvent crochue. Chez beaucoup de marsupiaux, la tête est profondément invaginée à l'extrémité postérieure (figure 21); mais chez certains elle présente plutôt une forme en baguette (figure 20); la tête paraît librement articulée au niveau du collet. Le spermatozoïde des monotrèmes ovipares (figure 3) possède une tête allongée, presque vermiforme, et ressemble davantage aux spermatozoïdes d'oiseaux qu'à ceux des mammifères. On ne sait si les différences interspécifiques de forme ont une signification adaptative. Il existe aussi des différences de forme de tête entre souches différentes d'une même espèce chez les spermatozoïdes de souris [8].

Métabolisme et survie. On croyait autrefois que les spermatozoïdes de mammifères étaient incapables d'utiliser du matériel nutritif extracellulaire et que la limite de leur existence indépendante était déterminée par les réserves intracellulaires acquises durant la spermatogenèse. Mais on sait maintenant que ces cellules peuvent métaboliser de nombreux substrats extracellulaires et utiliser l'énergie ainsi obtenue pour maintenir leurs fonctions physiologiques. Les principaux systèmes fournissant de l'énergie utile aux spermatozoïdes de mammifères sont le système glycolytique de Embden-Meyerhof, qui dégrade le glucose et le fructose en acide lactique, et le système cytochrome-cytochrome oxydase et le cycle de Krebs, qui peuvent oxyder en acide carbonique et eau de nombreux substrats mais surtout les lactates et les pyruvates. Même en l'absence de substrats exogènes, les spermatozoïdes de mammifères peuvent respirer activement et maintenir leur motilité pendant un temps appréciable. Dans ces conditions, on pense qu'ils se procurent l'énergie par oxydation d'un phospholipide endogène, constituant caractéristique des mitochondries, métabolisme très analogue à celui qui est normal pour les spermatozoïdes d'oursin [19]. On pense que les enzymes d'oxydation sont toutes localisées dans les mitochondries, mais on regarde généralement les enzymes de Embden-Meyerhof comme possédant une distribution cytoplasmique et donc plus largement répandues dans la cellule. La glycolyse peut s'accomplir en anaérobie, mais elle produit beaucoup moins d'énergie que les oxydations aérobies.

Le métabolisme ne se réduit pourtant pas à des phénomènes cataboliques. Des travaux récents montrent que les spermatozoïdes de mammifères synthétisent des lipides [17] et incorporent des acides aminés à leurs protéines [5]. Cette incorporation d'acides aminés présente un intérêt spécial en raison de l'absence apparente d'ARN.

Il semble probable que les processus aérobies jouent un rôle dominant dans le métabolisme du spermatozoïde dans le tractus génital femelle, car il s'y trouve à la fois du lactate et de l'oxygène. Pourtant, dans la plupart des espèces, les spermatozoïdes ne survivent pas plus de un ou deux jours dans le tractus femelle, bien que certaines chauves-souris fournissent des exceptions notables. Dans l'épididyme, les spermatozoïdes semblent placés dans des conditions où manquent à la fois l'oxygène et les sucres glycolysables; on ne sait rien sur leur métabolisme dans ce milieu, mais il est probablement faible. Ils y conservent leur fertilité pendant un ou deux mois et leur motilité pendant plus longtemps encore. *In vitro*, la survie est courte à la température du corps ou de la chambre, mais on peut prolonger cette survie en abaissant la température de conservation. Par dilution dans un milieu approprié et refroidissement soigneux on peut conserver la fertilité des spermatozoïdes de taureau plusieurs jours à 4° et des années à −79° [18].



FIGURES 51 et 52 – *Représentation schématique de la structure probable des têtes des spermatozoïdes de taureau et de hamster respectivement.*

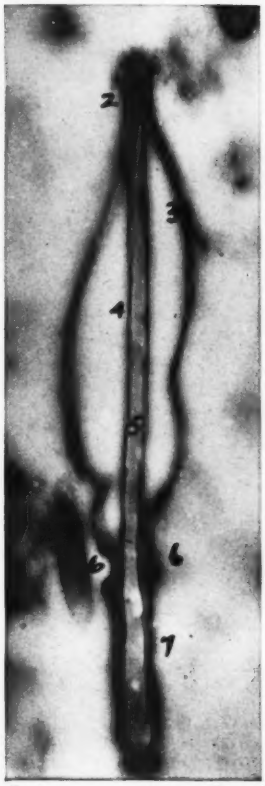
LE RÔLE DU SPERMATOZOÏDE DANS LA FÉCONDATION

Pour pénétrer dans l'œuf le spermatozoïde doit franchir trois barrières. Ce sont la mince membrane vitelline qui entoure le protoplasme de l'œuf, la zone pellucide mucoprotéique épaisse (10 à 12 μ), et plusieurs couches de cellules folliculaires qui adhèrent à l'extérieur de la zone pellucide et se trouvent enrobées dans une substance gélatineuse composée surtout d'acide hyaluronique.

Les spermatozoïdes passent entre les couches de cellules folliculaires grâce à l'hyaluronidase, enzyme que l'on peut facilement extraire des spermatozoïdes de mammifères. En présence de grandes quantités de spermatozoïdes, les cellules folliculaires sont rapidement dispersées, mais en dépit des centaines de millions de spermatozoïdes libérés dans le tractus femelle lors du coït, seuls quelques milliers atteignent le lieu de fécondation et ceux qui atteignent les œufs les premiers sont trop peu nombreux pour les dénuder. La pénétration de l'œuf se produit avant la dispersion des cellules folliculaires qui en fait peuvent aider à l'entrée du spermatozoïde en augmentant la surface de la cible et en orientant celui-ci vers l'œuf. Evidemment l'hyaluronidase de chaque spermatozoïde est suffisante pour assurer son passage à travers la masse des cellules folliculaires.

Quand il atteint la zone pellucide le spermatozoïde s'attache à sa surface par l'acrosome et l'on a des raisons de penser que cette adhérence résulte d'une réaction de type antigène-anticorps [6]. Le spermatozoïde passe alors la zone pellucide probablement à l'aide d'une autre enzyme localisée aussi dans l'acrosome. Les essais d'extraction de cette enzyme ont jusqu'ici échoué, mais le petit orifice qui subsiste après le passage du spermatozoïde rend son existence probable. Un des caractères remarquables de cette pénétration est qu'elle ne peut se faire avant que le spermatozoïde ne soit resté quelque temps dans le tractus femelle et n'ait subi une sorte de modification préparatoire, appelée «capacitation». On suppose qu'elle comporte l'activation d'une enzyme hypothétique à l'intérieur de l'acrosome.

Après passage de la zone pellucide, le spermatozoïde s'attache à la membrane vitelline et paraît alors lentement englouti par la partie cytoplasmique de l'œuf. D'abord la tête, puis la queue du spermatozoïde s'enfoncent lentement dans



FIGURES 53 et 54 – *Coupes longitudinales de têtes de spermatozoïdes de verrat et de bélier respectivement. 1, calotte externe de l'acrosome. 2 et 3, calotte interne de l'acrosome. 4, membrane nucléaire. 5, noyau. 6, limite de l'acrosome et de la calotte post-nucléaire. 7, calotte post-nucléaire. La limite entre l'acrosome et le noyau de la figure 51 est un artefact.* (× 13 000 *et* × 38 000 *respectivement.*)

FIGURE 55 – *Tête de spermatozoïde de taureau, montrant un défaut héréditaire de l'acrosome (ombrage à l'or-palladium:* × 9000).

FIGURE 56 (*à droite*) – *Coupe transversale de la pièce intermédiaire de la queue d'un spermatozoïde de bélier.* (× 60 000)

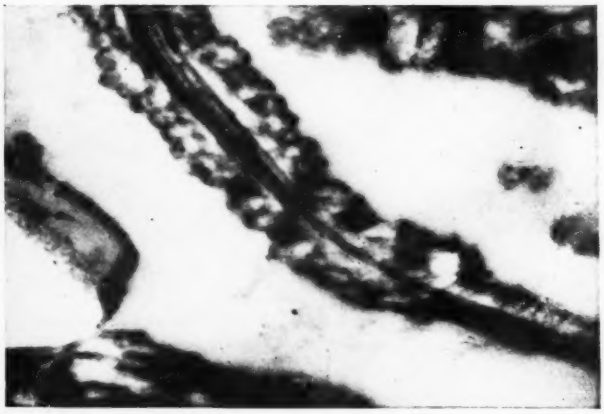


FIGURE 57 – *Coupe longitudinale d'une portion de pièce intermédiaire et de pièce principale d'un spermatozoïde de bélier, montrant l'hélice mitochondriale et les filaments axiaux.* (× 20 000)

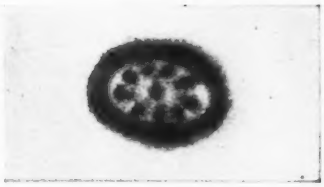


FIGURE 58 – *Coupe transversale de la pièce principale de la queue d'un spermatozoïde de verrat. Les anneaux interne et externe de neuf fibres et les deux fibres centrales ne sont pas résolus séparément sur cette photographie.* (× 50 000)

FIGURES 53–58 – *Microphotographies électroniques de spermatozoïdes de verrat, de taureau et de bélier.*

l'œuf. Cette pénétration est accompagnée d'une stimulation de l'œuf à se développer et de modifications de la membrane vitelline et de la zone pellucide qui les rendent impénétrables pour d'autres spermatozoïdes.

A l'intérieur de l'œuf le noyau du spermatozoïde grossit considérablement et perd sa forme caractéristique. Ce noyau se dirige alors vers le centre de l'œuf, comme le fait le noyau de l'œuf lui-même. Les deux noyaux viennent en contact étroit, les membranes nucléaires disparaissent et les noyaux se trouvent remplacées par deux groupes de chromosomes qui se fondent en un seul. Ceci marque la fin de la fécondation et le début de la première mitose de segmentation du nouvel embryon. L'union des deux groupes haploïdes de chromosomes rétablit le nombre diploïde de l'espèce. Quand l'œuf se divise chaque chromosome se redouble, et chaque cellule-fille reçoit une part égale de chromosomes fournis par le spermatozoïde et par l'œuf.

Le spermatozoïde entier pénétrant dans l'œuf en règle générale, il est possible que d'autres structures que le noyau jouent un rôle important dans le développement du nouvel embryon. On a suggéré, en fait, que l'acrosome pourrait être responsable de la stimulation de l'œuf, que les centrioles du spermatozoïde pourraient jouer un rôle essentiel dans la formation du premier fuseau de segmentation et que les mitochondries de la pièce intermédiaire pourraient rester fonctionnelles dans le cytoplasme de l'œuf.

LISTE DES ESPÈCES DONT ON A FIGURÉ LES SPERMATOZOÏDES

	Figure
MONOTRÈMES	
Echidné, *Tachyglossus* (= *Echidna*) *aculeatus*	3
MARSUPIAUX	
Chat-marsupial, *Dasyurops maculatus*	20
Bandicoot, *Perameles nasuta*	21
PLACENTAIRES	
Taupe commune européenne, *Talpa europaea*	4
Grand Rhinolophe («fer-à-cheval»), *Rhinolophus ferrum-equinum*	22, 38
Galago, *Galago crassicordatus*	34
Homme, *Homo sapiens*	35
Furet, *Mustela furo*	31
Chat, *Felis catus*	32
Baleine pilote, *Globicephalus melaena*	5
Verrat, *Sus scrofa*	43, 49, 53, 58
Taureau, *Bos taurus*	37, 44, 47, 51, 55
Bélier, *Ovis aries*	54, 56, 57
Bouc, *Capra hircus*	33
Lapin de garenne, *Oryctolagus cuniculus*	9
Souris de Barbarie, *Lemniscomys barbarus*	28
Rat albinos, *Rattus norvegicus*	8, 18, 29, 40
Rat à mamelles multiples, *Mastomys coucha*	30
Souris commune, *Mus musculus*	13, 50
Hamster doré, *Mesocricetus auratus*	11, 19, 25, 39, 42, 52
Hamster chinois, *Cricetulus griseus*	14, 15, 26
«Cotton rat», *Sigmodon hispidus*	7, 24, 36, 48
Merione lybienne, *Meriones libycus*	10, 27
Campagnol, *Microtus agrestis*	12, 23
Cobaye, *Cavia porcellus*	16, 17, 41, 45, 46

REMERCIEMENTS

Nous sommes très reconnaissants à Mr. J. Smiles pour son concours inestimable dans les problèmes de microscopie, à Mr. M. R. Young pour son habileté à obtenir les microphotographies dans l'ultra-violet et en fluorescence des figures 7–19 et 36–41, au Dr. J. L. Hancock qui nous a fourni quelques microphotographies de spermatozoïdes colorés (figures 43, 44, 49), au Dr. J. R. G. Bradfield pour les micrographies électroniques (figures 53–58) et au Dr. A. Bolliger, au Professeur E. C. Amoroso et à Mr. M. Blackmore qui nous ont fourni des spermatozoïdes de marsupiaux, de chat et du grand rhinolophe respectivement.

RÉFÉRENCES

[1] Armstrong, J. A. *Exp. Cell Res.*, **11**, 640, 1956.
[2] Bangham, A. D. et Hancock, J. L. *Nature, Lond.*, **176**, 656, 1955.
[3] Barer, R., Ross, K. F. A. et Thaczyk, S. *Ibid.*, **171**, 720, 1953.
[4] von Bertalanffy, L. et Bickis, I. *J. Histochem. Cytochem.*, **4**, 481, 1956.
[5] Bhargava, P. M. *Nature, Lond.* (Sous presse.)
[6] Bishop, D. W. et Tyler, A. *J. exp. Zool.*, **132**, 575, 1956.
[7] Bishop, M. W. H. et Smiles, J. *Nature, Lond.*, **179**, 307, 1957.
[8] Braden, A. W. H. Thèse, Université d'Edimbourg, 1956.
[9] Bradfield, J. R. G. *Symp. Soc. exp. Biol.*, **9**, 306, 1955.
[10] Clermont, Y., Einberg, E., Leblond, C. P. et Wagner, S. *Anat. Rec.*, **121**, 1, 1955.
[11] Dan, J. C. *Int. Rev. Cytol.*, **5**, 365, 1956.
[12] Daoust, R. et Clermont, Y. *Amer. J. Anat.*, **96**, 255, 1955.
[13] Friend, G. F. *Quart. J. micr. Sci.*, N.S., **78**, 419, 1936.
[14] Hancock, J. L. *J. exp. Biol.*, **30**, 50, 1953.
[15] *Idem. J.R. micr. Soc.* (Sous presse.)
[16] Leuchtenberger, C., Murmanis, I., Murmanis, L., Ito, S. et Weir, D. R. *Chromosoma*, **8**, 73, 1956.
[17] Lovelock, J. E. et Bishop, M. W. H. (Observations non publiées.)
[18] Polge, C. Dans «Mammalian Germ Cells», p. 108. Publié sous la direction de G. E. W. Wolstenholme. J. and A. Churchill Ltd., Londres. 1953.
[19] Rothschild, Lord. *Endeavour*, **15**, 79, 1956.

Les domaines ferromagnétiques

par L. F. BATES

Les phénomènes physiques qui apparaissent lors de l'aimantation d'un métal ferromagnétique, ont donné lieu à un grand nombre d'études. Les travaux exposés dans le présent article apportent une contribution nouvelle à notre connaissance de ces phénomènes mis en évidence au moyen de techniques raffinées, mais ne dépassant pas celles qui sont familières à l'étudiant en magnétisme, et nous permettant de suivre en détail certains d'entre eux.

INTRODUCTION

Dans cet article seront décrits quelques résultats importants et intéressants obtenus par une variante moderne de l'expérience classique donnant une représentation des lignes de force magnétique au moyen de la limaille de fer. Les remarquables propriétés magnétiques des substances ferromagnétiques sont couramment attribuées à un arrangement particulier de forces, désignées sous le nom de forces d'échange, ou de couplage, entre les électrons tournants des atomes voisins; le but principal de cette étude est d'obtenir des renseignements détaillés sur ce qui se passe lorsqu'une substance ferromagnétique est placée dans des conditions d'aimantation qui permettent de vérifier les théories élémentaires du magnétisme et d'améliorer le rendement des matériaux ferromagnétiques. Etant donné qu'une structure polycristalline est constituée habituellement par un grand nombre de très petits cristaux à la surface desquels apparaissent des phénomènes qui, bien que très intéressants, compliquent l'expérience, la plupart des travaux ont été limités à l'étude des monocristaux.

Considérons tout d'abord le comportement magnétique d'un monocristal de cobalt, puisque nous avons ici un exemple très net d'anisotropie cristalline ferromagnétique. Le cristal peut être représenté par un solide hexagonal qui, à température ordinaire, s'aimante facilement suivant l'une des deux directions parallèles à l'axe du bloc, mais avec difficulté suivant une direction perpendiculaire, c'est-à-dire dans le plan de l'hexagone. Pour cette raison, les deux premières directions — directions d'aimantation privilégiées — sont appelées «directions de facile aimantation».

Pour expliquer la facilité avec laquelle un métal ferromagnétique désaimanté peut être aimanté presque à saturation dans un champ magnétique faible, on admet que le métal est constitué par un grand nombre de régions élémentaires, ou domaines, pour chacun desquels l'aimantation a la valeur maximum; dans chaque domaine le vecteur aimantation est parallèle à une direction d'aimantation privilégiée du cristal dont il fait partie. Dans l'échantillon désaimanté, les vecteurs aimantation des différents domaines doivent en général être distribués au hasard, ou, dans des cas particuliers, disposés suivant une courbe fermée. Entre domaines adjacents, il doit alors exister une limite ou une étroite région de transition.

Lorsqu'on fait agir un champ magnétique sur un cristal désaimanté, deux transformations importantes se produisent. Premièrement, ceux des domaines dont les vecteurs aimantation font avec le champ un angle plus petit que 90°, s'accroissent au détriment de leurs voisins moins favorablement aimantés, par déplacement des parois. Deuxièmement, les vecteurs des domaines individuels tendent à tourner suivant le sens du champ. La première transformation a lieu généralement dans le cas de champs faibles ou moyens, et la seconde dans le cas de champs élevés, bien qu'en réalité, les deux effets soient souvent juxtaposés. Pour des champs très intenses, tous les vecteurs s'orientent parallèlement au champ et le cristal est saturé; il se comporte alors comme un domaine unique.

TECHNIQUE EXPÉRIMENTALE

Pour une telle étude, un cristal doit être taillé et surfacé avec soin. Il subit en général un bon polissage mécanique. Celui-ci entraîne une déformation de la couche superficielle qu'on élimine par polissage électrolytique dans un bain spécial, le courant étant réglé par pont électrique [1]. Le cobalt est l'un des métaux les plus faciles à préparer pour l'étude des monocristaux.

Sur la surface polie, montée horizontalement, on dépose une goutte de magnétite en solution colloïdale ou une poudre ferromagnétique très fine. Les particules de magnétite ou de poudre se déposent suivant une répartition qui peut être

examinée ou photographiée au microscope métallographique avec un grossissement compris entre 50 et 400. Ces répartitions sont connues sous le nom de spectres de poudres ou figures de Bitter [2]. Les résultats les meilleurs sont obtenus à partir de magnétite en solution colloïdale préparée suivant la formule de W. C. Elmore [3, 4].

EXPÉRIENCES AVEC DES CRISTAUX DE COBALT

Lorsqu'on applique la technique précédente à une bande de la surface d'un monocristal de cobalt, taillée parallèlement à l'axe senaire, le spectre de la figure 3 est obtenu pour l'état désaimanté. Les lignes horizontales sombres de colloïde séparent des domaines alternativement aimantés suivant l'une ou l'autre des deux directions d'aimantation privilégiées. La figure en forme de dague, visible dans la partie droite de la photographie, est un domaine de fermeture — structure secondaire dont la fonction sera décrite plus loin — dont l'aimantation est anti-parallèle à celle du domaine principal. Le contour en dents de scie au milieu de la photographie est inhabituel, il est probablement dû à une détérioration de la couche superficielle du cristal.

Deux domaines voisins sont séparés par des parois dans l'épaisseur desquelles s'effectue le retournement à 180°; elles se présentent suivant les lignes en trait fort. Actuellement, on attribue le ferromagnétisme aux interactions entre les spins des électrons, et ainsi les électrons responsables du ferromagnétisme dans des domaines voisins, doivent avoir leurs spins orientés suivant des directions opposées. Par conséquent, le long d'une ligne d'atomes traversant la paroi, et perpendiculaire à celle-ci, le spin doit varier de façon continue d'un atome à l'autre. Ceci se manifeste par un champ de fuite à l'intersection de la paroi d'un domaine avec la surface du cristal, intersection au-dessus de laquelle les dipôles magnétiques seront attirés et se déposeront.

Si un champ magnétique est appliqué à l'échantillon de la figure 3, suivant une direction parallèle à l'axe du cristal, l'échantillon est aimanté par déplacement des limites à 180°. Chacun des domaines alternés se développe en tendant à réduire l'interstice jusqu'à ce que le cristal ne forme plus qu'un large domaine où les limites ont disparu. Dans les figures 4 et 5 on voit les effets d'un champ magnétique faible appliqué perpendiculairement à la surface. Celle-ci n'étant vraisemblablement pas exactement un plan cristallin, l'aimantation doit avoir une composante normale à la surface, et ceci pour chacun des domaines. Cette composante augmentera ou diminuera par suite de l'application d'un champ perpendiculaire faible. Dans la figure 4, un tel champ est dirigé vers l'intérieur et, dans la figure 5, il sort de la surface; par examen des imperfections de celle-ci, on voit que les deux spectres sont inversés.

Sur la figure 4 on distingue également de courtes lignes noires ou rayures verticales à angle droit des parois du domaine principal. Elles sont dues à de petites dépressions accidentelles ou sillons venant du polissage. Lorsqu'un sillon est perpendiculaire à la direction d'aimantation d'un domaine, un champ de fuite joint les deux versants et les particules colloïdales s'y déposent. Cependant, lorsque le sillon est parallèle à la direction d'aimantation, le champ de fuite ne le traverse pas et il n'y a pas dépôt de colloïde. En traçant systématiquement de fines rayures sur la surface au moyen d'une fibre de verre [5], on peut se rendre compte de la direction d'aimantation. Dans le plan de base d'un cristal de cobalt, des spectres caractéristiques en étoile se forment comme l'indique la figure 6.

EXPÉRIENCES AVEC DES CRISTAUX DE FER-SILICIUM

La plupart des études relatives aux domaines ont été faites à partir de cristaux fer-silicium contenant 3% de silicium. Ils sont cristallisés dans le système du cube centré et possèdent six directions d'aimantation privilégiées, parallèles aux arêtes du cube. Les figures observables sur une face du cube, ou surface (100) sont particulièrement significatives. Dans un état désaimanté, la surface est couverte par une figure présentant l'aspect de sapins (figure 7); leur formation est expliquée de la façon suivante [5]: Lorsque la surface du cristal s'écarte légèrement du plan (100), les rameaux des arbres apparaissent. Le tronc de l'arbre de la figure 7 est formé par l'intersection d'une paroi à 180° avec la surface. Les branches, aimantées dans des directions perpendiculaires à celles des domaines principaux, sont formées par des domaines de fermeture ellipsoïdaux sortant des parois à l'intérieur du cristal, et dont l'intersection avec la surface est triangulaire. Les domaines de fermeture ont pour fonction de réduire autant que possible l'aimantation «libre» à la surface. Les rameaux des arbres sont d'autant plus étalés et flous que la surface se rapproche du plan (100).

Dans la figure 8, obtenue pour un champ

magnétique faible, parallèle à la paroi à 180° voisine du centre de la photographie, les directions d'aimantation dans certains domaines sont indiquées par des flèches. Dans le cas de l'arbre dont les rameaux sont perpendiculaires au tronc, visible au coin supérieur gauche de la photographie, le tronc est formé par l'intersection d'une paroi à 90° avec la surface; c'est-à-dire que la paroi sépare deux domaines dont les aimantations sont perpendiculaires. Comme précédemment, les rameaux sont formés par l'intersection de domaines de fermeture ellipsoïdaux avec la surface, et dans cet exemple, les branches rejoignent le tronc de deux manières différentes.

Au bas de la partie centrale de la figure 8 apparaît une structure semblable à un arbre au tronc volumineux. Cette structure est appelée domaine d'aimantation renversée. Lorsqu'on augmente le champ magnétique faible, le diamètre du tronc paraît augmenter et l'arbre s'allonge rapidement. Finalement, toute la surface est couverte par le tronc et devient un domaine unique.

EXPÉRIENCES QUANTITATIVES

Des expériences quantitatives intéressantes ont été réalisées avec des cristaux de fer-silicium taillés spécialement. Par exemple, H. J. Williams et W. Shockley [6] effectuaient une section parallèle à une face d'un cube et la découpaient en une sorte de cadre dont les côtés étaient parallèles aux arêtes du cube. Dans un état non aimanté ils réalisaient une paroi unique à 180° entourant complètement la surface du cadre de telle façon que sur la face intérieure de la paroi, l'échantillon soit aimanté dans le sens des aiguilles d'une montre et dans le sens inverse sur la face extérieure de la paroi. Par le passage d'un courant à travers un bobinage enroulé sur un côté du cadre, le cristal pouvait être soumis à un champ magnétisant; la paroi se déplaçait et les variations d'aimantation pouvaient être mesurées en fonction de sa position.

L. Néel [7] le premier, attira l'attention sur le comportement d'un échantillon de fer mince taillé comme l'indique la figure 1. Les surfaces supérieure et inférieure sont des plans (100) et les côtés des plans (110), ainsi l'axe de l'échantillon est une direction [110], c'est-à-dire une diagonale de l'une des faces du cube. Lorsqu'on fait agir seulement un très petit champ parallèle à cet axe, on obtient l'état indiqué sur la figure 1; les domaines principaux successifs sont alternativement aimantés parallèlement aux directions [001] et [00$\bar{1}$], axes de facile aimantation. Un simple système de domaines de fermeture, *q*, suffit à

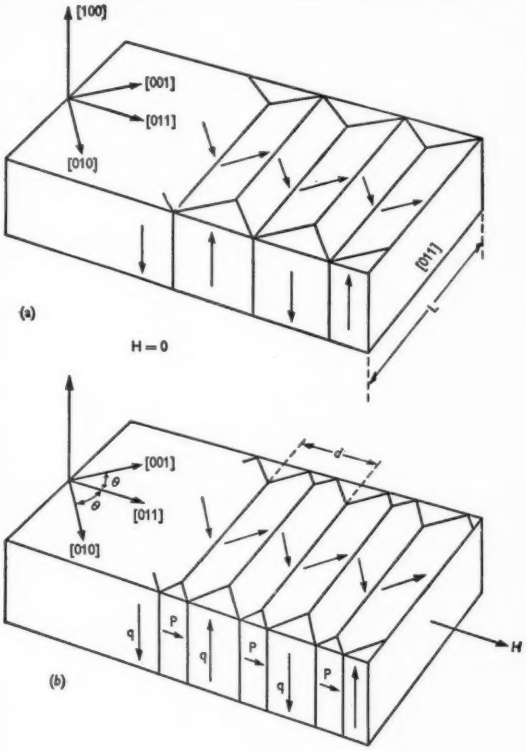


FIGURE 1 – *Structure de domaine d'un échantillon de Néel.*

empêcher l'apparition d'une aimantation libre de surface sur les côtés. Quand on applique un champ magnétique appréciable *H*, les vecteurs du domaine principal s'orientent vers l'intérieur, comme dans la figure 1(*b*), et simultanément s'établit un nouvel ensemble de domaines de fermeture, *p*.

Des échantillons taillés comme l'indique la figure 1 ont souvent été examinés [5, 8–10] et la figure 9 montre le spectre correspondant. Une solution colloïdale dense a été utilisée ici pour mettre en évidence la direction d'aimantation dans des domaines alternés; les figures circulaires qui apparaissent au milieu de la photographie sont probablement dues aux défectuosités de la couche sous-jacente. Dans cette expérience, le champ magnétique obtenu en plaçant la bande entre les pôles d'un électroaimant est mesuré au moyen d'un potentiomètre magnétique [11] et la période *d* est déterminée d'après les enregistrements photographiques. Dans la figure 2, on a tracé la courbe des différentes valeurs de *d* en fonction des valeurs correspondantes du champ *H*, et la courbe théorique se rapportant à la figure 1(*b*) [11]. Sans doute il y a, du point de vue

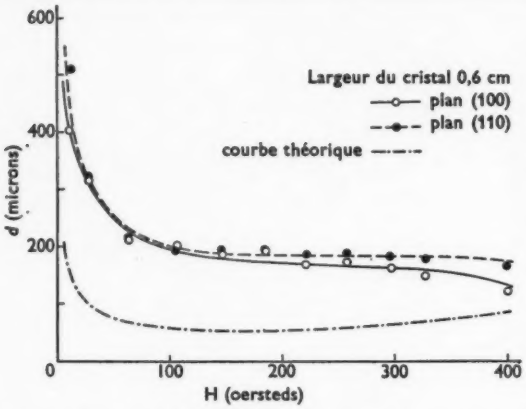


FIGURE 2 – *Variations de la distance entre deux domaines en fonction du champ sur les surfaces* (100) *et* (110).

numérique, une certaine différence entre les résultats expérimentaux et théoriques, mais dans l'ensemble, l'accord est satisfaisant. De toute façon, on ne peut s'attendre à une concordance parfaite, puisque les figures que l'on trouve sur la surface (110), appelées «dentelles» sont très complexes. Quand le cristal est épais, elles sont bien définies, comme dans la figure 12(*a*); la période, *d'*, est égale à celle trouvée sur la surface (100), quoique pour certains échantillons [10, 12], elles fassent un angle qui va jusqu'à 15° avec la direction attendue; pour ceci il n'y a aucune explication. Avec des échantillons étroits on obtient des figures semblables à celles de la figure 12(*b*). Nous avons, en fait, mis en évidence l'aimantation «libre» de surface, ce qui n'a pas été envisagé par la théorie.

EFFETS DES DÉFECTUOSITÉS

Néel fut le premier à signaler qu'à l'existence d'un défaut à l'intérieur d'un domaine, par exemple une cavité, une inclusion, ou une particule en tension mécanique, doit être associée une énergie magnétostatique importante, à moins qu'un domaine de fermeture entoure ce défaut. C'est Williams [13] qui le premier a photographié de tels systèmes par la méthode des poudres. La figure 10 montre deux systèmes de fermeture, de part et d'autre de la limite à 180° qui partage la photographie. Les ondulations légères de cette limite indiquent la présence de nombreux défauts auxquels cette limite est accrochée. Les systèmes de fermeture, aimantés perpendiculairement au domaine principal, sont coudés en boomerangs, et ils doivent provenir de l'intersection avec la surface de structures ellipsoïdales.

De remarquables séries de photographies ont été prises par D. H. Martin [14] lorsque le déplacement dû à un champ magnétique fait passer les limites à 90° et 180° à travers des inclusions. Mais avant de décrire ici des photographies du même type, il est utile de discuter un phénomène dont l'importance a été reconnue récemment [6, 15]. La figure 11 montre deux parois à 180°. Sur la gauche de la paroi, la plus proche du centre de la photographie, on remarque une inclusion sur laquelle se trouve greffé un domaine de fermeture en «pointe», ou «pic», de Néel, la pointe étant dirigée vers la gauche. La pointe un peu déformée visible entre les deux parois à 180° provient d'une autre inclusion. Mais on doit noter encore, que chaque inclusion est accrochée aux parois à 180° par des «tubes». Actuellement, on pense que ces tubes jouent un rôle important dans les phénomènes d'hystérésis. Lorsqu'une paroi s'éloigne d'une inclusion, le tube atteint une longueur critique et dégénère en pointe. De même, quand une paroi approche d'une pointe courte, cette dernière s'allonge et s'accroche à la paroi. Le phénomène est décrit comme une extension du tube (*Schlauchziehen*); on essaie maintenant de l'étudier dans des conditions bien définies.

Au cours d'une telle étude, P. M. Griffiths a obtenu l'ensemble des photographies montrées dans les figures 13 (*a–f*). On peut suivre l'approche d'une paroi à 180° vers une piqûre de la surface due au polissage, son passage sur la piqûre et son mouvement final d'éloignement. La paroi se déplaçant de droite à gauche, on remarque la dégénérescence des tubes accrochés à la paroi, leur disparition presque complète au moment où la paroi arrive sur la piqûre et leur reconstitution lorsque la paroi s'éloigne. Finalement on voit que le tube supérieur en (*f*) a dégénéré en pointe. La figure 13(*c*) donne une excellente idée d'un domaine de fermeture très localisé à l'intersection d'une inclusion par le plan d'une paroi. Ces effets ne peuvent évidemment pas être réversibles; néanmoins, ils doivent être courants dans les substances polycristallines; leur formation et leur disparition doivent être accompagnées de transformations thermiques par microcourants d'induction [16].

Il y a lieu de se demander ce qui arrive lorsqu'un échantillon est aimanté plus ou moins jusqu'à saturation dans un champ intense de telle façon qu'il devienne effectivement un domaine unique et lorsque le champ est ensuite ramené lentement à zéro. Pourquoi la configuration en domaine

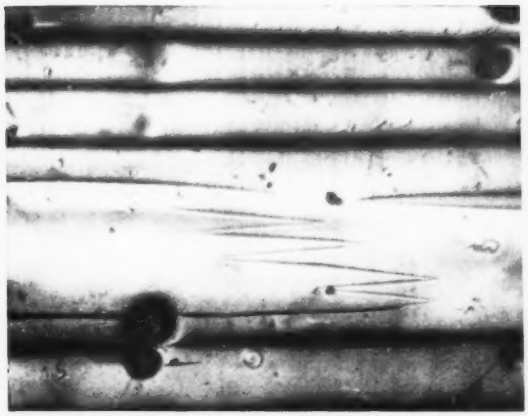


FIGURE 3 – *Spectre de poudre sur la face* (10$\bar{1}$0) *d'un monocristal de cobalt désaimanté.* (× 110)

FIGURE 4 – *Cobalt. Etat désaimanté, surface* (10$\bar{1}$0). *Champ magnétique faible appliqué normalement à la surface.* (× 125)

FIGURE 5 – *Cobalt. Etat désaimanté, surface* (10$\bar{1}$0). *Les conditions sont les mêmes que dans la figure* 4, *mais le sens du champ est renversé.* (× 125)

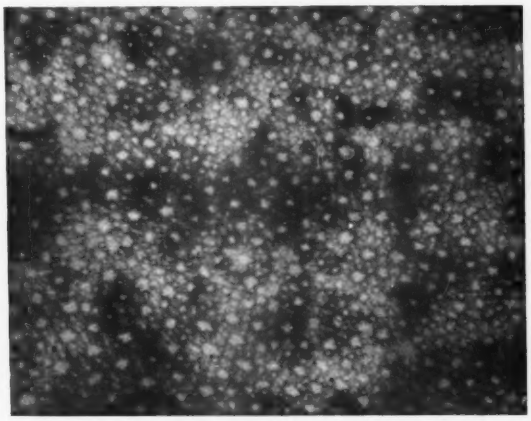


FIGURE 6 – *Spectre de poudre sur le plan de base d'un cristal de cobalt désaimanté.* (× 110)

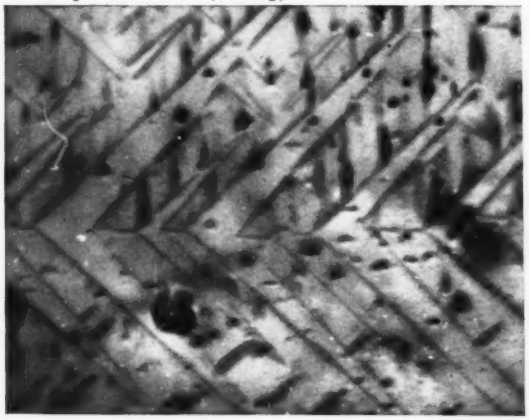


FIGURE 7 – *«Arbres» sur une surface de fer-silicium voisine du plan* (100). *Cristal désaimanté.* (× 180)

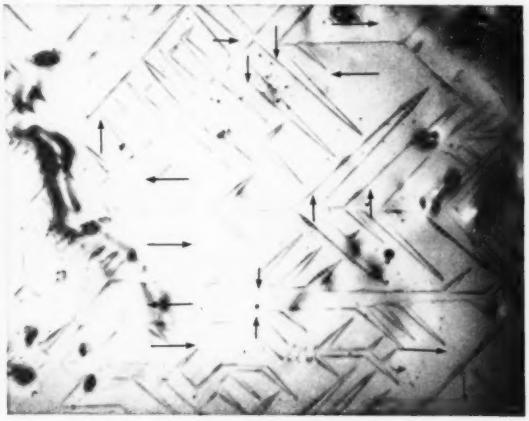


FIGURE 8 – *«Arbres» et domaine d'aimantation renversée sur une surface de fer-silicium voisine du plan* (100); *un champ très faible agit sur le cristal qui est presque désaimanté.* (× 80)

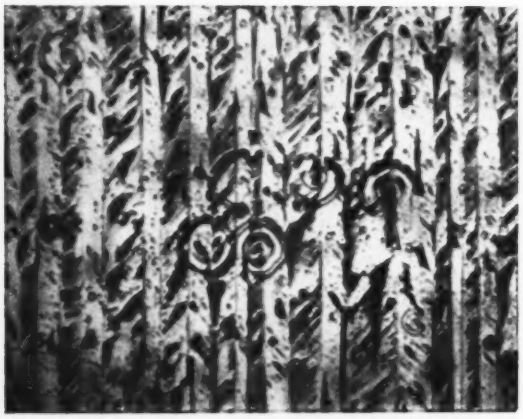


FIGURE 9 – *Lignes sur un cristal fer-silicium de Néel. Le champ est appliqué parallèlement à la direction* [011], *c'est-à-dire perpendiculairement aux lignes de poudre.* (× 125)

FIGURE 10 – *Structures des domaines de fermeture sur une surface* (100) *de fer-silicium. Une paroi à* 180° *traverse la photographie de haut en bas.* (× 200)

FIGURE 11 – *«Pointes» de Néel, et tubes attachés à une inclusion et à une paroi à* 180°, *sur une surface* (100) *de fer-silicium.* (× 90)

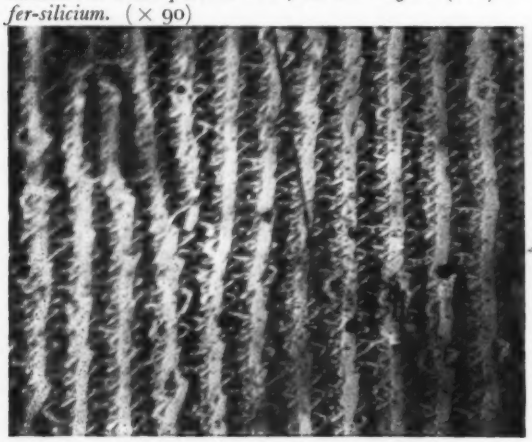


FIGURE 12(*a*) – *«Dentelles» sur une surface* (110) *de fer-silicium.* (× 115)

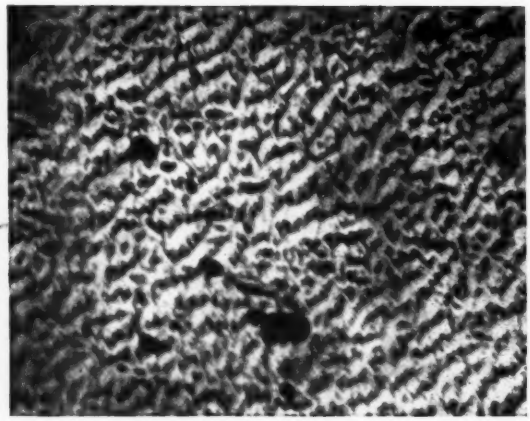


FIGURE 12(*b*) – *«Dentelles» sur la surface* (110) *d'un échantillon mince de fer-silicium.* (× 125)

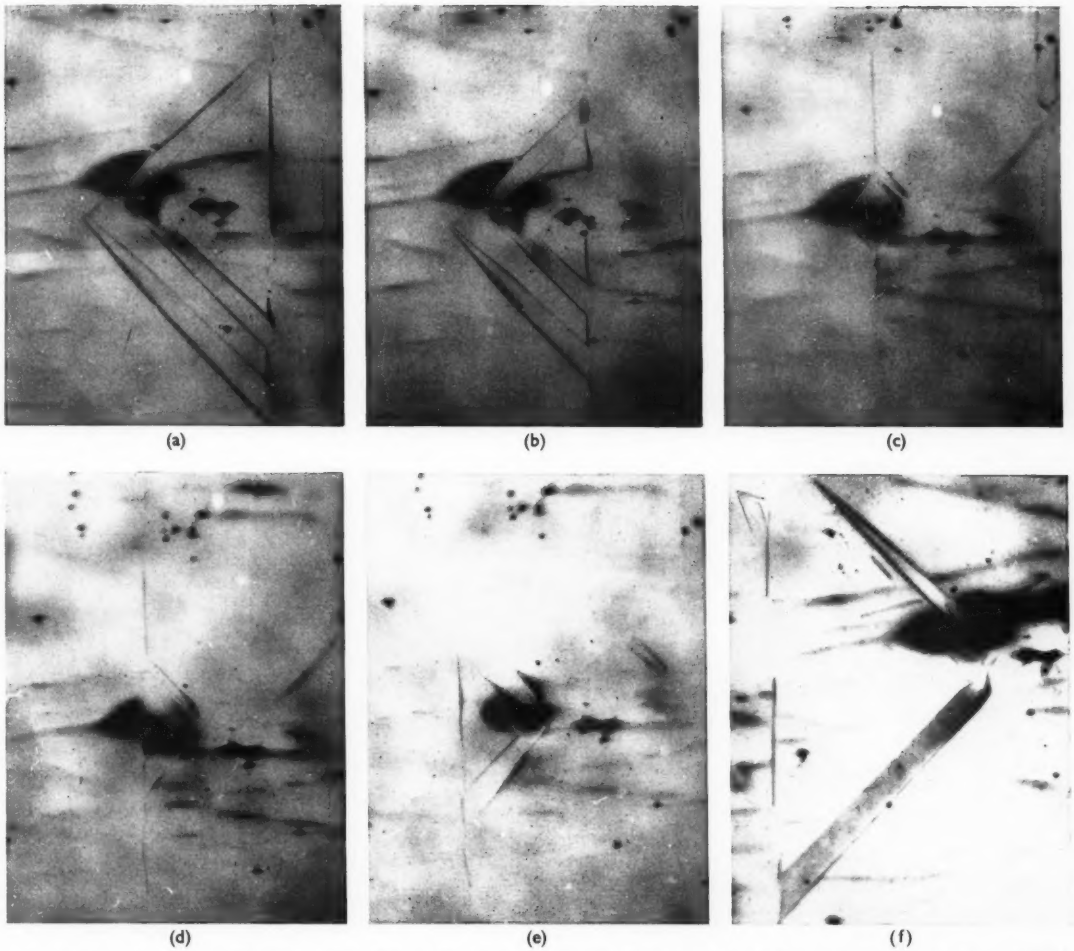


FIGURE 13 (*a* à *f*) – *Figures sur fer-silicium illustrant le passage d'une paroi à* 180°, *sur une piqûre à la surface du cristal. La paroi se déplace de droite à gauche* (× 250). *Noter les «arbres» autour de l'accident en* (*c*).

FIGURE 14(*a*) – «*Têtards*» *sur un grain polycristallin de fer-silicium, sur une surface voisine de* (110). *Le bord d'un grain se trouve à droite, à l'extérieur de la photographie.* (× 100)

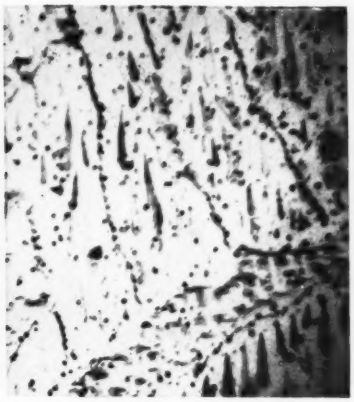


FIGURE 14(*b*) – «*Têtards*» *et «losanges» sur une surface de fer-silicium voisine de* (110). *Un champ faible est appliqué suivant une direction* [110]. (× *c.* 100)

FIGURE 15 – *Structure en échelon observée sur une surface* (100) *d'un bloc rectangulaire de fer-silicium. L'arête du bloc est au bord inférieur de la photographie.* (× 90)

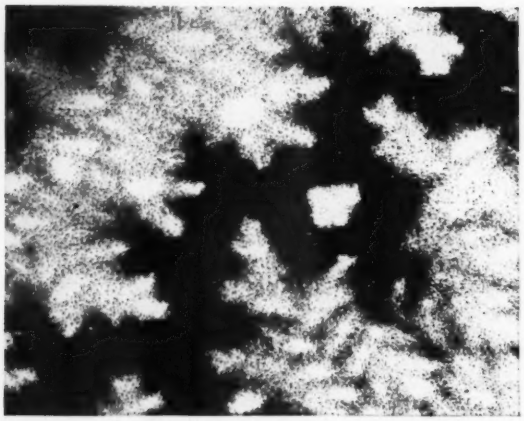
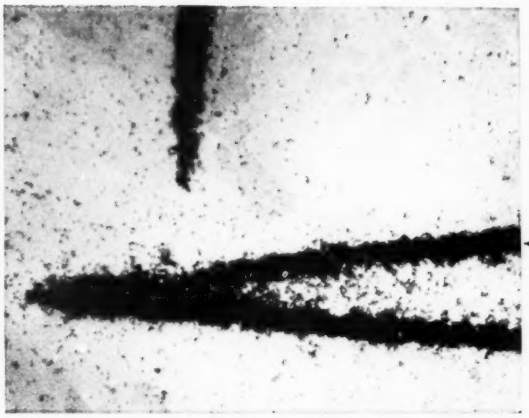


FIGURE 16 – *Détail de spectre sur un plan de base de cobalt.* (× 7800)



Axe du cristal

FIGURE 17 – *Extrémité d'un domaine de fermeture en «dague» sur cobalt. Rayure visible dans la partie supérieure de la photographie.* (× 5900)

Axe du cristal

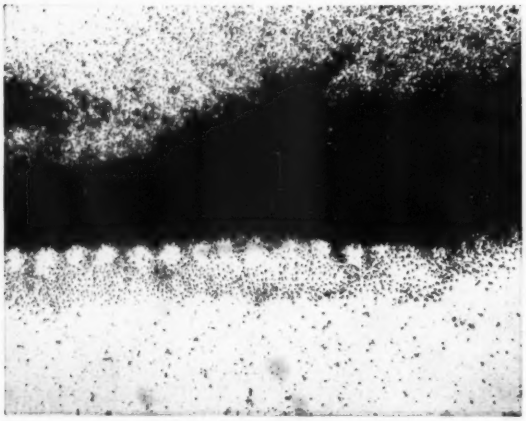


FIGURE 18 – *Rayure de la surface de cobalt.* (× 5000)

Axe du cristal

FIGURE 19 – *Figure caractérisant les tensions à la surface d'un cristal de cobalt.* (× 5900)

Axe approx. hexagonal

FIGURE 20 – *Spectre de poudre sur un grain de ferrite de baryum (Magnadur).* (× 5000)

FIGURE 21 – *Figure sur le plan de base d'un grain de ferrite de baryum surfacé.* (× 5900)

Axe
du
ristal

Axe
du
ristal

unique ne se conserve-t-elle pas? Prenant le cas le plus simple, celui d'une surface (100) de fer-silicium aimanté à saturation suivant une arête du cube, Martin [16] a montré l'importance extraordinaire des inclusions et des défauts artificiels. Il a montré qu'en de tels centres apparaissent des domaines d'aimantation inversée comme celui de la figure 8. Une fois créés, ces domaines n'ont besoin que d'une faible variation de champ pour se développer sur toute la surface.

NOUVELLES FIGURES DE SIGNIFICATION PARTICULIÈRE

Afin de déterminer comment, du point de vue de leur étendue, les figures trouvées sur des surfaces polycristallines, ressemblaient à celles des surfaces de monocristaux, A. Hart [17] a étudié en détail du fer-silicium dans lequel les grains ont été préalablement orientés, et les plans d'intersection d'un grand nombre de ces grains dans une surface laminaire, très voisins d'un plan (110). Les figures examinées étaient les «dentelles» précédemment observées sur la surface (110) d'un échantillon de Néel. Au cours de cette étude, d'intéressantes figures, «les têtards», furent enregistrées pour la première fois. Elles apparaissaient toujours au voisinage du bord d'un grain et on en a conclu qu'il s'agissait d'un type spécial de structure de fermeture couvrant un domaine plus élémentaire, les têtes de têtards mettant en évidence des champs de fuite extrêmement localisés. On les considère maintenant comme constituées par l'intersection d'un domaine de fermeture de Néel avec la surface; un modèle satisfaisant de leur formation peut être donné.

D'autres renseignements relatifs à ces structures ont été obtenus par Davis [18] en utilisant des échantillons fer-silicium de granulation grossière et dont les surfaces (110) étaient à peu près planes. W. S. Paxton et T. G. Nilan [19] ont trouvé des figures en forme de losange lorsque l'angle de la surface et du plan (110) est compris entre 4° et 7°, l'aimantation de l'échantillon étant faible ou nulle. La figure 14(*a*) montre de nombreux «têtards» et la figure 14(*b*) de nombreux losanges. On pense que les losanges représentent l'intersection avec la surface, de domaines d'aimantation renversée situés dans les domaines principaux; dans des échantillons minces, ces domaines sont empilés en couches presque parallèles à la surface, et aimantés alternativement suivant les directions opposées [001] et [00$\bar{1}$]. Les losanges sont alors perpendiculaires à la direction [110] et les têtards, parallèles à la direction [111]. A la conférence internationale de Moscou en 1955, Shur a montré des enregistrements de losanges obtenus à partir de feuilles de fer-silicium d'épaisseurs comprises entre 6 et 50 microns. Il a insisté sur le fait que même à saturation, les losanges ne disparaissent pas complètement. Ceci indiquerait que les noyaux, pour des domaines d'aimantation renversée, sont toujours disponibles.

Martin a trouvé que lorsqu'un échantillon rectangulaire de fer-silicium, dont les faces sont des plans (100), est taillé de telle façon qu'une extrémité soit dans le plan (111), une figure très compliquée, en «échelon», de texture très fine, était trouvée sur la surface (100) dans l'état désaimanté. La figure 22 montre la formation de ce spectre dont une excellente photographie est donnée (figure 15). Martin [20] a utilisé cet

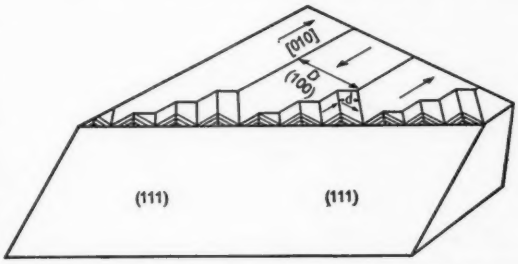


FIGURE 22 – *Modèle illustrant la formation de l'«échelon» sur un plan* (100) *de fer-silicium.*

exemple pour calculer les dimensions optima du domaine en fonction des dimensions du cristal. Il a trouvé que le comportement d'un échantillon de section rectangulaire, dont les deux faces terminales sont des plans (111), est sensiblement le même que pour un échantillon dont les faces terminales sont (010), et que même si les parois à 180° sont remplacées par des parois à 90°, la variation d'énergie résultante est très petite. Ce résultat remarquable doit élargir nos vues sur les processus d'aimantation.

ÉTUDES AU MICROSCOPE ÉLECTRONIQUE

Une nouvelle technique qui semble avoir de grandes possibilités, vient d'être imaginée par D. J. Craik [21]. Il réalise une sorte de copie du spectre sous la forme d'un film mince de résine épais de 200 Å, et l'examine au microscope optique ou électronique.

Des photographies illustrant les qualités de cette nouvelle technique sont présentées dans les figures 16–20. La figure 16, qui peut être comparée à la figure 6, montre certains détails fins du spectre de poudre obtenu sur le plan de base d'un cristal de

cobalt désaimanté. La figure 17 est l'enregistrement de l'extrémité d'un domaine de fermeture en «dague», ou domaine d'aimantation renversée, et d'une rayure dans la partie supérieure de la photographie. La figure 18 donne un meilleur exemple de photographie d'une rayure; la lèvre inférieure de la rayure est bordée par un dépôt hexagonal caractéristique de cobalt en tension mécanique. Une autre figure caractérisant les tensions superficielles est reproduite sur la figure 19.

L'application de cette nouvelle technique à l'examen de substances dont la représentation des domaines est moins bien connue que celle du cobalt, est importante. Une première tentative a été faite, et, dans la figure 20, nous avons l'image d'un domaine typique enregistrée sur un grain de ferrite de baryum de grandes dimensions (Magnadur). L'épaisseur de la particule est d'environ 5 microns; un bord du grain est visible sur la droite de la photographie et l'axe senaire du cristal, approximativement vertical, est dans le plan de la figure. Les parois du domaine sont distantes d'environ 1 micron.

Quand les grains de la substance sont plus petits que l'épaisseur d'une paroi, l'aimantation ne peut être renversée que par une difficile rotation, et ceci implique une haute valeur de la coercivité magnétique. La figure 21 est un enregistrement sur 5 microns environ du spectre sur le plan de base d'un grain de ferrite de baryum taillé. Cet enregistrement a été pris au cours d'une étude des spectres de grains dont les dimensions approchaient les valeurs critiques au-dessous desquelles l'existence de parois de domaine est impossible.

CONCLUSION

Le manque de place nous a contraint de limiter le champ de notre exposé. Il n'a pas été question, par exemple, des spectres du nickel dont l'étude est délicate, le cristal à faces centrées possédant huit directions d'aimantation privilégiées, les directions [111], et aussi parce que ses propriétés sont très sensibles aux tensions. De très belles photographies ont été prises par des chercheurs Japonais [22]. Nous n'avons pas parlé des spectres complexes obtenus sur des surfaces pour lesquelles la couche de Beilby n'a pas été systématiquement éliminée par des moyens électrolytiques et dont l'étude a fourni récemment des renseignements complémentaires sur les domaines de fermeture [23]. De belles expériences fondamentales sur les lames polycristallines de Perminvar [24] ne sont pas décrites, bien qu'elles aient montré comment la paroi d'un domaine unique peut donner naissance à un circuit fermé à l'intérieur d'une surface sur un anneau de la substance. Les expériences sur les matériaux constitutifs des aimants permanents [12] n'ont pas non plus été signalés. Cependant, la technique des figures de Bitter nous a permis d'établir la réalité du concept de domaine et a, en outre, projeté de la lumière sur d'importants processus d'aimantation encore mal connus jusqu'à ce jour.

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à remercier tous ceux qui ont collaboré avec lui dans ces recherches et fourni les photographies reproduites dans cet article. La photographie de la figure 14(*b*) a été prise par le Dr. A. Hart, celles des figures 16 à 21 par Mr. D. J. Craik, et les autres par Mr. P. F. Davis et Mr. P. M. Griffiths.

RÉFÉRENCES

[1] Bates, L. F. et Mee, C. D. *J. sci. Instrum.*, **27**, 317, 1950.
[2] Bitter, F. *Phys. Rev.*, **38**, 1903, 1931.
[3] Elmore, W. C. *Ibid.*, **54**, 309, 1938.
[4] Bozorth, R. M. «Ferromagnetism» p. 533. Macmillan & Co. Ltd., Londres. 1951.
[5] Williams, H. J., Bozorth, R. M. et Shockley, W. *Phys. Rev.*, **75**, 155, 1948.
[6] Williams, H. J. et Shockley, W. *Ibid.*, **75**, 178, 1948.
[7] Néel, L. *J. Phys. Radium*, **5**, 325, 1944.
Lifshitz, E. *J. Phys., Moscow*, **8**, 337, 1944.
Kittel, C. «Solid State Physics», Vol. III. Academic Press, New-York. 1956.
[8] Bates, L. F. et Neale, F. E. *Proc. phys. Soc. Lond.*, *A*, **63**, 374, 1950.
[9] Bates, L. F. et Mee, C. D. *Ibid.*, *A*, **65**, 129, 1952.
[10] Bates, L. F. et Hart, A. *Ibid.*, *A*, **66**, 813, 1953.
[11] Bates, L. F. «Modern Magnetism». University Press, Cambridge. 1951.
[12] *Idem. Research*, **8**, 462, 1955.
[13] Williams, H. J. *Phys. Rev.*, **71**, 646, 1947.
[14] Bates, L. F. *J. Inst. Met.*, **82**, 417, 1954.
[15] Brenner, R. *Z. angew. Phys.*, **8**, 391, 1953.
[16] Bates, L. F. et Martin, D. H. *Proc. phys. Soc. Lond.*, *A*, **66**, 162, 1953; *A*, **69**, 145, 1956.
[17] Bates, L. F. et Hart, A. *Ibid.*, *A*, **66**, 813, 1953.
[18] Bates, L. F. et Davis, P. F. *Ibid.*, *B*, **69**, 1109, 1956.
[19] Paxton, W, S. et Nilan, T. G. *J. appl. Phys.*, **26**, 994, 1955.
[20] Martin, D. H. *Proc. phys. Soc. Lond.*, *B*, **70**, 77, 1957.
[21] Craik, D. J. *Ibid.*, *B*, **69**, 647, 1956.
[22] Yamamoto, M. et Iwata, T. *Sci. Rep. Res. Inst. Tohoku Univ.*, *A*, **5**, 433, 1953.
[23] Chikazumi, S. et Suzuki, K. *J. phys. Soc. Japan*, **10**, 523, 1955.
Stephan, W. *Exp. Tech. Phys.*, **4**, 153, 1956.
«Compte rendus de la Conférence Internationale sur le Magnétisme», Moscou, 1956. Publication de l'Académie des Sciences de l'U.R.S.S.
[24] Williams, H. J. et Goertz, M. *J. appl. Phys.*, **23**, 316, 1952.

L'acide gibberellique

P. W. BRIAN et JOHN FREDERICK GROVE

Il y a plus de trente ans qu'on sait qu'un produit métabolique du mycète *Gibberella fujikuroi* exerce une influence marquée sur la croissance des plantes, mais ce n'est que récemment qu'on l'a examiné de près. La recherche vient d'établir les caractéristiques chimiques du principe actif biologique et ses principaux effets sur la croissance des plantes. L'acide gibberellique a des propriétés si remarquables qu'on s'est naturellement demandé quelles applications pratiques il pourrait avoir en agriculture, mais on n'en a pas encore trouvé.

INTRODUCTION

Dans tous les pays producteurs de riz l'on observe une maladie de cette céréale provoquée par le mycète *Gibberella fujikuroi* (état conidial: *Fusarium moniliforme*) venant du sol. La plupart des symptômes ressemblent à ceux de bien d'autres maladies à *Fusarium*; le mycète s'introduit par les racines et la base de la tige qu'il affecte de nécrose locale, et se propage aux tissus de l'hôte; le système vasculaire de la tige brunit et celle-ci se flétrit. Bien des jeunes plants attaqués finissent par mourir, mais au début ils présentent un symptôme tout à fait spécial. Les tiges et les feuilles de certains plants malades s'allongent plus rapidement que celles des plants sains: quand on regarde un champ infecté on croirait qu'on y a semé un mélange de riz court et de riz long. Cette maladie a été étudiée de près au Japon et à Formose où on l'appelle la maladie de «bakanae».

Il y a trente ans le phyto-pathologiste japonais E. Kurosawa [1] fit une découverte importante: il observa l'élongation caractéristique de la maladie du riz quand il appliqua à des semis sains des filtrats sans cellules préparés à partir de cultures de *G. fujikuroi* cultivées en milieu synthétique. Il semblait donc peu douteux que l'agent responsable de la croissance exagérée était un sous-produit métabolique du mycète issu lors de sa croissance soit sur l'hôte soit en milieu de culture.

Les Japonais suivirent rapidement cette voie et trouvèrent bientôt que nombre d'autres espèces végétales donnaient la même réaction de croissance augmentée. Les effets se limitaient à la croissance de la tige; la croissance de la racine restait inchangée ou elle était faiblement réduite. Ils étudièrent les conditions de production de la substance active; leur essai biologique rudimentaire était basé sur la réaction de jeunes plants de riz. Simultanément des recherches sur l'extraction et la purification du principe actif se poursuivaient et l'on trouva qu'il pouvait être adsorbé sur du charbon de bois et extrait à l'aide de certains solvants organiques. Enfin, en 1939, on obtint un produit cristallin — en rendements de l'ordre de 10 mg par litre de milieu de culture impur — qui stimulait la croissance quand on l'appliquait aux racines des plants à des concentrations de quelques parties par million; on l'appela gibberelline A [2]. Des travaux ultérieurs sur la chimie de la gibberelline A et sur ses propriétés physiologiques furent publiés au Japon, mais à cause de la guerre on n'en eut connaissance en Europe et en Amérique que plusieurs années après leur parution.

Plus récemment les métabolites de *G. fujikuroi* favorisant la croissance ont joui d'une attention plus générale dont a résulté la découverte que la gibberelline A originale est un mélange de trois constituants ayant une activité physiologique similaire: ce sont la gibberelline A_1, gibberelline A_2 et l'acide gibberellique [3]. Ce dernier fut obtenu à l'état pur indépendamment et presque simultanément en Angleterre et aux Etats-Unis. On arrive à produire l'acide gibberellique en rendement bien plus considérable que les gibberellines A_1 et A_2; on a effectué des travaux plus détaillés et plus utiles sur sa chimie, son activité physiologique et ses applications pratiques possibles que ceux qu'on a pu accomplir sur la gibberelline A originale. Notre article traitera principalement de ces travaux récents.

PRODUCTION DES GIBBERELLINES ET DE L'ACIDE GIBBERELLIQUE

La méthode de production employée au Japon à l'origine reposait sur la culture de *Gibberella fujikuroi* à la surface de milieux liquides. La composition précise de ces milieux ne fut pas publiée mais ils semblent avoir contenu simplement du glycérol et des sels — ou du glycérol et des milieux salins avec du chlorure d'ammonium

comme source d'azote. L'incubation était de 30 à 45 jours à 25°. Le principe actif d'une culture de ce genre fut isolé des filtrats par une procédure assez compliquée: en principe il s'agissait de l'adsorber sur du charbon actif et de l'extraire avec de l'ammoniaque méthylique. Après plusieurs échelons supplémentaires de purification on obtenait environ 10 mg de «cristaux de gibberelline impure» par litre [4].

La fermentation profonde avec agitation et aération—la technique de la préparation d'antibiotiques—semblait indiquée pour la production de l'acide gibberellique. Des chercheurs japonais prirent le même milieu de culture que pour la fermentation de surface et le soumirent à un procédé à phase unique, mais après 96 heures à 27° ils ne purent recouvrer plus de 8 mg par litre. Un groupe d'Américains obtint des rendements de 17 mg par litre d'un mélange de gibberelline A et X (acide gibberellique); le milieu avait de 1,5 à 2% de glucose avec des sels et la fermentation fut continuée pendant 95 heures en trois étapes à 25°. Leurs milieux et leurs méthodes d'extraction étaient dans l'ensemble semblables à celles de leurs collègues japonais [3, 5].

Un groupe britannique [6] a décrit une fermentation agitée à phase unique capable de donner des rendements bien plus élevés, proches de 200 mg d'acide gibberellique. Bien qu'ils aient employé une race différente de mycète il est plus que probable que ce sont surtout les conditions nouvelles de fermentation qui ont donné le rendement accru, notamment (*a*) un milieu plus riche en sucre (4% de glucose ou de sucrose) et (*b*), une fermentation plus longue avec un rendement maximum à 25° après 18 jours. Ces chercheurs trouvèrent que les milieux glycériques entretiennent une bonne croissance, mais sont moins satisfaisants que le sucrose ou le glucose comme sources de carbone pour la production d'acide gibberellique. La méthode d'extraction était un peu plus simple que celle des Japonais mais elle était la même en principe; l'acide gibberellique était extrait des filtrats de culture par adsorption sur du carbone et dissous dans l'acétone aqueuse.

RÔLE DE L'ACIDE GIBBERELLIQUE DANS L'ALLONGEMENT DES PLANTES

Croissance des pousses. Le mode d'application de l'acide gibberellique importe peu. Que l'on en asperge la pousse tout entière, qu'on en dépose une microgoutte dans l'eau ou l'alcool sur une feuille isolée, ou qu'on traite les racines en incorporant l'acide gibberellique dans le sol ou dans la solution de culture, on obtiendra essentiellement la même réaction.

Pour décrire les types de croissance engendrés, le mieux est d'en donner quelques exemples: la hauteur des pousses de blé augmente (figure 2) grâce à l'extension des entre-nœuds des tiges tant qu'à celle des feuilles. Les feuilles auront aisément une fois et demi la longueur de celle des plantes non traitées, mais elles sont généralement un peu plus étroites et plus ternes. Cette chlorose se remarque le plus pour les plantes cultivées en sol ou en solution de culture de faible valeur nutritive. Cette pâleur est passagère si l'on ne limite pas les aliments minéraux. Les données quantitatives qui ont été publiées [7] se rapportent à l'application de l'acide gibberellique aux racines; dans ces expériences on peut déceler une réaction si l'acide gibberellique représente 0,1 μg par millilitre d'aliment, et l'effet maximum s'obtient de 1 à 10 μg par ml. Au cours d'expériences où des plants de blé furent aspergés d'acide gibberellique (100 μg par ml) chaque semaine jusqu'à maturité, la taille moyenne des tiges à fleurs s'accrût de 25%. Par contre il y eut moins d'épis et, en conséquence, le nombre total des gerbes en fut réduit de 25%. Les épis émergèrent de la gaine foliaire quelques jours avant ceux des plantes non traitées.

La croissance des variétés de petits pois nains (*Pisum sativum*) est activée de façon notable par l'acide gibberellique. La longueur de l'entre-nœud des tiges peut s'accroître de 200 à 400%; les pétioles des feuilles s'allongent presque au même point mais la taille de la feuille n'est pas affectée au même point que pour le blé et les céréales. Bien que les plantes traitées soient d'abord un peu plus pâles que les autres, ce symptôme se remarque moins que pour les céréales. Nous avons des données quantitatives sur la dose et la réaction pour le pois nain [8]. Un résultat net s'observe à raison de 0,01 μg par plante; au-dessus de cette dose la réaction est directement proportionnelle au logarithme de la dose dans la région de 0,01 à 0,1 μg (figure 1). La réponse à une dose isolée est temporaire. La croissance s'accélère aussitôt après l'application: la grandeur de la dose modifie peu le régime de croissance nouvellement établi, mais elle influence le temps pendant lequel cette croissance accélérée est maintenue. Le taux de croissance général finit par tomber à celui des plantes non traitées (figure 3). Pour maintenir un taux accru de croissance pendant le cycle de vie tout entier d'une plante, on doit appliquer l'acide gibberellique à intervalles plutôt rapprochés. Dans une expérience où des

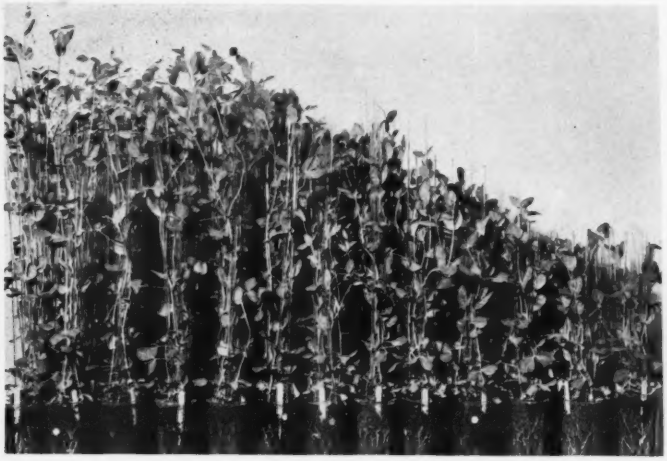


FIGURE 1 – *Semis de pois «Meteor» 26 jours après l'application d'acide gibberellique (AG). De droite à gauche: les N°s 1 et 2 n'ont pas été traités; le N° 3 a reçu 0,01 µg d'AG. Les doses sont ensuite doublées en échelons jusqu'au N° 13, à l'extrême droite qui reçut 10,24 µg d'AG* [8].

FIGURE 2 (*à droite*) – *Semis de blé cultivés dans une solution de culture Pfeffer (à gauche) et une solution semblable (à droite) contenant 2 µg d'acide gibberellique par ml.*

pois nains recevaient des doses hebdomadaires de 1 µg d'acide gibberellique, la taille finale avait augmenté de moitié bien que le nombre total d'entre-nœuds n'eût pas changé [9]. L'effet de l'acide gibberellique revient à augmenter la taille simplement en allongeant la longueur de l'entre-nœud. Cette extension dépend presque uniquement de l'extension des cellules; il y a peu d'indications d'une multiplication accrue des cellules.

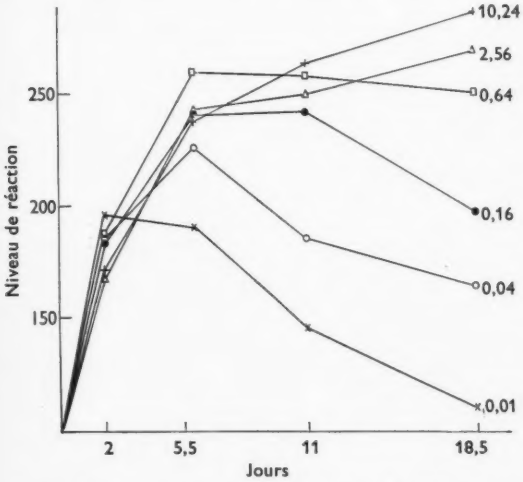
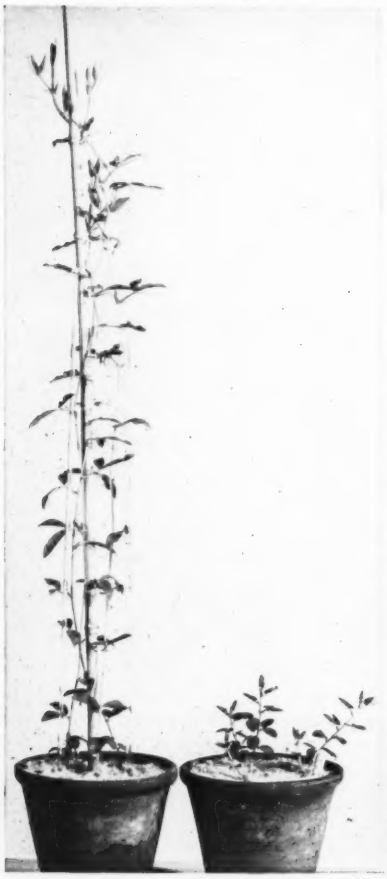


FIGURE 3 – *Taux de croissance de pois «Meteor» traités à l'acide gibberellique, exprimés comme un pourcentage de ceux de plantes non traitées. Les doses d'acide gibberellique (µg) sont indiqués à droite* [8].

L'action de l'acide gibberellique sur le pois de senteur «Cupidon» (*Lathyrus odoratus*) (figure 4) diffère en plusieurs points de ceux que nous venons de décrire pour le petit pois. Le pois «Cupidon» est d'un type buissonnant de dimensions très réduites et ses feuilles sont bien plus petites et plus foncées que celles du pois de senteur grimpant plus commun. Au début de la croissance de ce pois son axe principal cesse en général de pousser quand il atteint 15 cm environ et des bourgeons latéraux donnent des branches qui peuvent arriver au même niveau que l'axe principal; c'est l'origine de l'habitus buissonnant. L'application d'une dose hebdomadaire de 1 µg d'acide gibberellique transforme entièrement l'habitus de la plante. Des semis de 3 cm de haut furent traités de cette façon et la croissance de l'axe principal s'accéléra nettement: après trois semaines les plantes non traitées n'avaient que 7 cm de haut, les autres en avaient 42. A ce moment les branches latérales se mirent à pousser, celles des plantes non traitées rapidement, les autres beaucoup plus lentement. Le tableau 1 donne un résumé général de la croissance après 7 semaines. Les plantes non traitées avaient acquis six branches latérales de la même longueur environ ayant le même nombre d'entre-nœuds que l'axe principal; la croissance des plantes traitées

(a)

(b)



(c)

FIGURE 4 – *Effet d'une dose hebdomadaire de 1 μg d'acide gibberellique sur la croissance de pois de senteur «Cupidon»* (a) *2 semaines;* (b) *3 semaines;* (c) *et* (d) *4 semaines;* (e) *7 semaines après la première application. L'effet sur la forme des feuilles se voit le mieux sur* (d). *Les plantes traitées à l'acide gibberellique sont à droite en* (a) *et* (b), *et à gauche en* (c), (d) *et* (e).

(d)

(e)

TABLEAU I

Effet moyen de doses hebdomadaires de 1 µg *d'acide gibberellique* (*AG*) *sur la croissance* de *pois de senteur «Cupidon»*. (Mesures effectuées au terme de 7 semaines de croissance)

Traitement	Taille (cm)	Nombre d'entre-nœuds dans l'axe principal et toutes les branches	Nombre d'entre-nœuds dans l'axe principal	Nombre de branches
Aucun ..	12	83	14	6
1 µg par semaine ..	122	82	43	4

s'était concentrée sur l'axe principal qui s'était décuplé (par rapport à l'axe de la plante naturelle) tout en conservant le même nombre d'entre-nœuds. La couleur et la forme des folioles avaient changé; les folioles vert foncé ovales étaient devenues plus pâles et lancéolées comme celles du pois de senteur grimpant, et leur surface avait presque doublé. Un accroissement de surface de ce genre est rare chez les dicotylédonées. On a observé que les fèves naines subissent une transformation analogue et passent de l'état de buissons à celui de plantes grandes et grimpantes [7, 10].

De tels accroissements de la taille des tiges s'accompagnent souvent d'accroissements correspondants de leur poids frais et sec. Ainsi des expériences en petit avec des semis poussant dans des solutions d'acide gibberellique ont donné une augmentation de poids sec de 24% pour le blé et 15% pour les pois. Des carrés de gazon expérimentaux arrosés d'acide gibberellique une seule fois ont donné une augmentation de rendement de plus de 40% au poids sec. La cause de cet accroissement n'a pas encore été étudiée de façon rigoureuse, mais elle paraît subordonnée indirectement à l'augmentation de la surface des feuilles et d'autres surfaces photosynthétiques. Les augmentations de poids ne sont significatives que si le niveau initial alimentaire n'est pas trop bas pour limiter la croissance. Toutefois si le poids total de la plante reste le même il peut arriver une redistribution entre la racine et la tige: la racine y perd à l'avantage de la tige. Ceci se remarque principalement en cas de déficience alimentaire [7, 10, 11].

Nombre d'espèces ont été traitées à l'acide gibberellique au cours d'expériences simples à des fins d'observation pure, et dans bien des cas on enregistra des réactions du genre décrit; mais dans d'autres on n'en eut aucune, et certaines plantes n'ont donné que des réactions insignifiantes [10, 12]. Nous envisagerons ces différences plus loin.

Croissance des racines. On ne connaît aucune condition où l'acide gibberellique favorise la croissance des racines. Cette constatation est surprenante et contraire à ce qu'on avait supposé car elle indique qu'il y a quelque différence essentielle entre le mécanisme de croissance de la racine et de la plante. Une forte concentration d'acide gibberellique paralyse jusqu'à un point la croissance des racines [8].

COMPARAISON AVEC LES AUXINES

L'augmentation de la croissance des tiges engendrée par l'acide gibberellique est due surtout à l'extension des cellules. On sait déjà que l'extension cellulaire dans les plantes est régie par des hormones, les auxines [13], dont la mieux connue est l'acide indolyl-3-acétique. Nombre d'essais biologiques avec des auxines, notamment ceux de croissance droite de sections de coléoptiles, reposent réellement sur la capacité des auxines d'amorcer l'élongation cellulaire. Une comparaison détaillée entre les propriétés physiologiques des acides gibberellique et indolylacétique révèle certaines différences intéressantes [9, 14, 15].

On notera une différence significative entre l'effet des deux acides sur l'extension de sections de coléoptiles étiolées. L'acide indolylacétique en augmente grandement l'extension au terme des 24 heures habituelles de l'observation; le degré d'extension est approximativement proportionnel au logarithme de la dose dans les limites de 0,01 à 1,00 µg/ml. L'acide gibberellique, par contre, provoque peu d'extension et la courbe dose-réponse s'aplatit très rapidement. De même, l'acide indolylacétique provoque une extension marquée de sections d'entre-nœuds de pois cultivés à la lumière, alors que l'acide gibberellique n'en fait rien. Nous voyons donc un paradoxe frappant, car si l'acide gibberellique provoque une extension considérable de tissus intacts de jets de blé ou de pois, l'acide indolylacétique n'en fait rien, et dans le cas des sections découpées de ces plantes c'est l'inverse qui a lieu.

En plus de leur action sur l'extension cellulaire, les auxines affectent aussi la division des cellules et stimulent donc la prolifération de certains tissus. Ainsi, le traitement de boutures avec des auxines accélère la pousse des racines. L'acide

gibberellique en est incapable; en fait il contrebalance l'effet positif des auxines.

Si l'on coupe le point de croissance principal d'une plante, un ou plusieurs bourgeons latéraux se mettent à pousser pour le remplacer. Si l'on met une auxine sur l'extrémité décapitée de l'axe principal, la croissance de branches latérales est empêchée. L'acide gibberellique n'en fait rien; au contraire, il stimule une croissance accélérée des branches latérales. Mais dans les plantes intactes dont l'axe principal cesse de croître et les branches latérales se développent en conséquence, comme c'est le cas du pois de senteur «Cupidon», des applications d'acide gibberellique permettent la reprise de la croissance de l'axe principal et inhibent celle des branches latérales.

Il y a plusieurs autres différences remarquables. Les auxines inhibent l'abscission des feuilles; l'acide gibberellique n'a pas cet effet. Des doses excessives d'auxine stimulent la prolifération des cellules dans certains tissus; l'acide gibberellique n'en fait rien.

Toutes ces différences marquées entre l'acide gibberellique et les auxines nous engagent tout naturellement à penser que les deux classes de substances agissent de façon différente. Toutefois, si les conditions appropriées sont observées, chacune induira l'extension des cellules. Il reste possible qu'elles agissent de façon analogue en produisant ce résultat, mais c'est peu probable. On a vu [16] que l'extension de sections d'entrenœuds de pois en croissance est favorisée par les auxines mais non par l'acide gibberellique; mais si l'acide gibberellique est employé en présence d'acide indolylacétique on obtiendra une extension supplémentaire dépassant celle de la meilleure concentration d'auxine. L'efficacité de l'acide gibberellique dépend donc de la présence de l'acide indolylacétique. On s'expliquerait ainsi pourquoi il suscite une réaction chez les plantes complètes pourvues de leur équipement intact pour la synthèse d'auxines, tandis qu'il ne provoque qu'une faible réaction dans des sections pauvres en auxines. L'ensemble des données recueillies jusqu'ici nous inclinent à croire que l'action de l'acide gibberellique sur la croissance est distincte en quelque sorte de celle des auxines mais que les deux substances sont complémentaires.

AUTRES EFFETS PHYSIOLOGIQUES DE L'ACIDE GIBBERELLIQUE

Nous avons décrit jusqu'ici l'action de l'acide gibberellique sur la croissance végétative de plantes dont la croissance normale et le développement ne sont pas liés à des conditions fort strictes. Mais bien des plantes ne se développent que si elles sont exposées au moment approprié du cycle de leur vie à certains stimuli spécifiques. Il peut y avoir non seulement conditionnement de la croissance végétative mais la fleuraison peut être encore plus affectée. On a procédé à une étude préliminaire de l'action de l'acide gibberellique sur des plantes de cette catégorie; les résultats présentent un intérêt spécial.

Il y a une grande classe de plantes bisannuelles qui ont besoin de temps froid. On y trouve diverses plantes vivrières courantes, certains membres de la famille du chou, la carotte, le panais et la betterave sucrière. Lors de leur première saison de croissance dans leur habitat naturel ces plantes se revêtent d'une rosette de feuilles de base tandis que la tige axiale se développe à peine. L'année suivante une tige allongée se développe et porte des fleurs. Ni la tige ni les fleurs ne viendront que si la plante est exposée au préalable à une basse température pendant un intervalle court; la température critique varie d'une plante à l'autre. Ce stimulus est fourni généralement par l'hiver mais si on l'applique artificiellement la tige poussera immédiatement, même pendant la première saison de la croissance. La croissance subséquente de la tige et la fleuraison sont souvent régies aussi par la durée du jour. A. Lang [17] a décrit quelques effets de l'acide gibberellique sur la croissance et le développement de la jusquiame (*Hyoscyamus niger*), une bisannuelle à temps froid qui a aussi besoin de longues journées pour parfaire son développement jusqu'au stade de la fleuraison. Il observa que des doses assez fortes, de 60 à 300 μg par plante, amorçaient la formation d'une tige au stade de la rosette si la plante était maintenue à des températures bien au-dessus de celles auxquelles ce développement commence. Des plantes non traitées restèrent toutes au stade de la rosette. L'effet de l'acide gibberellique était plus prononcé sur les plantes exposées à un éclairement journalier prolongé que sur celles exposées à des jours courts; une dose de 60 μg eut peu d'effet sur des plantes peu exposées, mais un effet marqué sur l'extension de la tige des plantes fort exposées. Des doses modérées d'acide gibberellique semblent suffire pour remplacer le stimulus du froid, mais pour remplacer l'éclairement prolongé nécessaire pour l'extension normale de la tige, il faut des doses beaucoup plus fortes. On a aussi signalé l'action variable de l'acide sur la croissance de plantes pendant des jours longs et courts pour deux plantes annuelles

[18]. Une mauvaise herbe d'Amérique du Nord (*Galinsoga parviflora*) répond mieux à l'acide gibberellique pendant les longs jours, tandis que l'agrostemme (*Agrostemma Githago*) répond mieux lors des jours courts.

Les plantes du type *Hyoscyamus* traitées à l'acide gibberellique pendant les jours longs fleurirent normalement; celles qui furent traitées les jours courts ne fleurirent pas malgré la production d'une tige. Parmi les conditions nécessaires pour la fleuraison normale l'acide gibberellique remplace la traitement par le froid, mais non les longues journées. Ce résultat est des plus significatifs pour deux raisons. En premier lieu on est parvenu à séparer nettement l'allongement de la tige de la fleuraison. En deuxième lieu c'est le premier cas, à une exception près, d'amorçage chimique de la fleuraison dans des conditions ambiantes strictement opposées à la fleuraison. La seule exception est l'ananas, que l'on peut forcer à fleurir au moyen d'auxine [13], mais le déroulement de la fleuraison de l'ananas est anormal en plusieurs points.

L'acide gibberellique dérange aussi les semences et les tubercules dormants. Il fait germer des tubercules de pommes de terre dormants et des semences de salade qui ne germent ordinairement que sous la lumière rouge [14, 19]. Les auxines n'influencent pas les plantes dormantes mais l'acide gibberellique n'est cependant pas la seule substance qui en soit capable; on y parvient parfois à l'aide d'hydrocarbures non saturés, de chlorhydrate d'éthylène et de certains composés sulfurés tels que la thiourée et la glutathione. Il est fort improbable que le mode d'action de toutes ces substances soit le même.

L'acide gibberellique semble donc influencer plusieurs processus physiologiques autres que l'extension de croissance, mais on a effectué trop peu d'expériences pour être en mesure de déclarer si certains de ces effets sont généraux ou tout simplement des effets individuels anormaux.

L'ACIDE GIBBERELLIQUE EST-IL UNE HORMONE VÉGÉTALE NATURELLE?

L'extension de tige, la fleuraison et l'interruption de l'état dormant de semences et de tubercules ne sont pas, à première vue, des processus physiologiques apparentés, et cependant l'acide gibberellique les stimule tous, du moins chez certaines espèces végétales. Il semble remarquable qu'un produit métabolique fongueux dérivé d'un seul mycète, pour autant qu'on sache — intervienne à tant de degrés de la croissance et du développement de la plante. Ce qui est remarquable aussi c'est qu'aucun de ses effets ne sont anormaux puisque la plupart d'entre eux peuvent aussi être amorcés quand l'éclairement et la température du milieu ambiant de la plante sont appropriés. Les propriétés physiologiques de l'acide gibberellique pourraient s'expliquer plus facilement s'il était apparenté par sa structure ou ses propriétés physiologiques à quelque hormone (ou hormones) végétale naturelle: il y a des signes qu'il pourrait bien en être ainsi.

Voyons d'abord les preuves génétiques. Nous avons vu l'effet de l'acide gibberellique sur le pois de senteur «Cupidon». Cette plante, issue à l'origine d'un pois de senteur ordinaire de la variété grimpante par mutation récessive d'un seul gène, a des feuilles plus petites, des entrenœuds plus courts et un habitus plus ramifié que le type grimpant. Le traitement à l'acide gibberellique modifie la forme de croissance de telle sorte qu'elle se rapproche de celle du pois de senteur grimpant; il n'a aucun effet sur le pois grimpant lui-même. Des petits pois nains traités à l'acide gibberellique acquièrent l'habitus des grands pois [8], mais l'acide gibberellique a peu d'effet sur les grands pois. Ici aussi, la plante naine est récessive par rapport à la grande plante dont elle ne diffère que par un seul gène. Certains mutants de maïs qui sont récessifs par un seul gène reprennent l'habitus normal de grande taille après application d'acide gibberellique, mais les variétés de long maïs ne sont pas affectées. Dans chacun de ces cas — et l'on pourrait en citer d'autres — l'acide gibberellique force la variété récessive naine à reprendre l'habitus de grande taille dont elle est issue à l'origine par mutation. Il y a des exemples bien connus dans la génétique microbienne. Ainsi, si l'on traite aux rayons X des spores de la moisissure *Neurospora* qui se développent sur un milieu simple de glucose avec des sels, on produit des colonies de mutants qui ne croissent plus normalement sur le milieu de glucose et sels mais qui ont besoin d'aneurine (vitamine B_1). Ces races, dites «privées d'aneurine», sont récessives par rapport au type sauvage dont elles diffèrent par un seul gène. Ces races diffèrent biochimiquement de la variété sauvage, parce que, à l'encontre de cette variété, elles ne sont plus capables de préparer assez d'aneurine pour maintenir la croissance normale. Par analogie, il est logique d'expliquer la réaction différente des variétés naines et grandes à l'acide gibberellique en supposant que les plantes naines ont perdu le pouvoir de préparer quelque substance de nature

hormonale qui peut être remplacée par l'acide gibberellique. Signalons en passant que c'est peut-être le premier exemple où les effets d'une mutation d'une plante supérieure sont inversés par l'intermédiaire d'une substance chimique spécifique.

En deuxième lieu, voyons les faits biochimiques plus directs. En 1951, avant que, hors du Japon, on se soit intéressé aux gibberellines, J. W. Mitchell, D. P. Skaggs et W. P. Anderson [21] démontrèrent que des extraits éthérés de semences prématurées de fèves naines contiennent des substances capables de stimuler l'élongation des épicotyles de semis de fèves naines; cette extension est bien plus marquée que celle qui suit l'application d'auxines. A la suite de cette observation on trouva que la croissance du maïs mutant nain et des pois nains est amorcée par de tels extraits de semences tout à fait comme par l'acide gibberellique et le principe actif se déplace sur les chromatogrammes de la même manière aussi [22]. On a trouvé des substances analogues dans des jets de semis de pois longs et nains [23] mais on ne sait dans quelle espèce la concentration en est plus élevée. Si c'est dans l'espèce longue notre interprétation du nanisme s'en trouvera fortifiée, puisque nous l'avons attribué à la carence de la production d'une hormone du type acide gibberellique.

Supposons pour l'instant qu'on ait prouvé l'existence d'une telle hormone. Nous pourrons admettre alors que la croissance et les autres aspects du développement sont régis par les proportions relatives des auxines et de l'hormone. Nous savons déjà que les phénomènes de la croissance, de la fleuraison et de l'état dormant sont liés en quelque sorte au métabolisme des auxines, mais on n'est jamais parvenu à les expliquer entièrement de cette manière; il en est de même pour le nanisme [24]. Il semble déjà possible que nous pourrons baser nos explications beaucoup plus sur l'action réciproque des deux groupes d'hormones de croissance, peut-être en association avec des systèmes inhibitoires. Les travaux qui prouveront la valeur de ces théories sont encore en cours mais il vaut la peine de se rappeler que c'est en 1926 que Kurosawa a ouvert ces possibilités nouvelles grâce à ses observations simples sur la maladie «bakanae» du riz.

APPLICATIONS POSSIBLES

Il était tout naturel que l'action remarquable de l'acide gibberellique sur la croissance et le développement des plantes ait suggéré tant d'hypothèses sur son application possible en agriculture. Cette question ne saurait se résoudre que par des expériences sur le terrain; il n'y a pas de raison a priori que cette substance ait la moindre application pratique. Il est bon de rappeler que, bien qu'on ait vu que l'acide indolylacétique joue un rôle important sur la régulation de la croissance et la multiplication des cellules des plantes, il n'a

TABLEAU II

Différences de rendement en poids sec entre deux coupes d'un pré, après traitement à l'acide gibberellique

Date du traitement	Rendement en poids sec à la 1ère coupe			Rendement en poids sec à la 2ème coupe		
	Témoin non traité (kg/ha)	Augmentation (kg/ha) due à 140 g/ha	Augmentation comme % du témoin	Témoin non traité (kg/ha)	Diminution (kg/ha) due au traitement AG initial	Diminution comme % du témoin
1er mars 1955 ..	2485	390	16	3860	490	13
4 mars 1955	1535	502	33	1690	377	22
14 mars 1955	3740	540	14	3670	465	13
18 mars 1955	1145	490	43	1660	301	18
18 mars 1955	1440	201*	14	2095	251	12
13 avril 1955	3160	628	20	3800	880	23
13 avril 1954	2145	993	46	—	—	—
13 avril 1954	2420	804	33	5020	1240	25
10 juillet 1953 ..	1935	515*	27	552	63*	11
5 août 1954	2740	151	6	—	—	—
18 août 1954	2880	402	14	—	—	—

Toutes ces différences, sauf celles marquées d'un astérisque, sont significatives au niveau de probabilité d'un pour cent.

aucun débouché agricole, et pourtant des substances à structure analogue, notamment l'acide dichloro-2:4-phénoxyacétique, sont employées pour l'inhibition de la croissance végétale.

Pour juger les possibilités d'application de l'acide gibberellique, le mieux est d'envisager les quatre types de réaction physiologique que nous avons examinés plus haut: (1) l'augmentation du poids sec des pousses; (2) l'augmentation de la taille de l'axe principal; (3) l'induction de la fleuraison de plantes bisannuelles sans traitement froid (vernalisation); (4) l'interruption de l'état dormant.

Le premier est le plus important en principe. Comme nous l'avons vu, des expériences limitées à l'échelle du laboratoire ont donné parfois des augmentations de poids frais et sec des tissus de pousses. La seule publication détaillée relative à des opérations sur le terrain est celle de D. G. Morgan et G. C. Mees [11]. Ils aspergèrent des plantes en croissance avec une solution aqueuse d'acide gibberellique à raison de 140 g/ha. Les résultats de la plupart des récoltes furent décevants parce que l'augmentation de la croissance des tiges et des feuilles ne s'était pas accompagnée d'un rendement accru. Il en fut ainsi des tomates, du cassis, des pois et des haricots. Le blé traité au printemps réagit par une croissance plus rapide aussitôt après traitement mais les rendements en grain et en paille furent inchangés. Les récoltes de rhizomes furent diminuées. Seule l'herbe donna des accroissements de rendement uniformes.

Au cours d'expériences en plusieurs centres sur des prés, on coupa l'herbe de quatre à dix semaines après administration d'acide gibberellique au taux de 140 g/ha. La croissance des herbes avait été visiblement accélérée même dans les cas où les engrais n'avaient suscité aucune réaction. Des augmentations considérables de matière sèche furent enregistrées aussi (tableau II). La teneur en azote de l'herbe était un peu moindre que celle de l'herbe non traitée; le rendement brut en protéine n'avait donc pas augmenté au même point que la matière sèche totale. Ces résultats semblaient fort encourageants à première vue, mais quand on laissa pousser l'herbe pendant une période supplémentaire le rendement des carrés traités fut inférieur à celui des carrés ordinaires (tableau II). La raison de cette réduction de la croissance à la deuxième coupe n'était pas évidente. Les essais montrent qu'on doit prendre garde quand on extrapole les résultats d'expériences de laboratoire à l'échelle du terrain.

Il est probable que dans l'ensemble l'allongement des tiges sera plutôt nuisible en raison de l'affaiblissement de leur résistance mécanique: ainsi, une céréale à tige démesurée courra beaucoup plus le risque d'être couchée. Dans le cas d'une plante bisannuelle comme le chou ou la salade récoltée au stade de la rosette, il est évident que l'activation de la production de tiges serait indésirable; mais elle pourrait être avantageuse dans le cas du lin et du chanvre, où l'on extrait des fibres de la tige. F. Lona et A. Bocchi [24] ont montré par leurs expériences de laboratoire que l'acide gibberellique allonge les entre-nœuds et la tige du chanvre, mais on ne sait si l'on pourrait y arriver de façon pratique sur le terrain ni comment la fibre s'en ressentirait en quantité et en qualité.

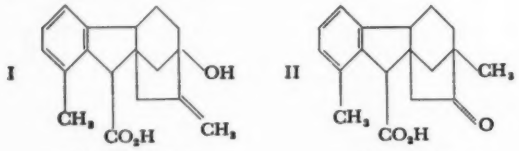
La fleuraison hâtive de certaines plantes bisannuelles pourrait servir à fournir la semence de certaines récoltes, mais on ne sait pas encore si les expériences de laboratoire de Lang avec l'*Hyoscyamus* pourraient être entreprises à l'échelle du champ avec d'autres plantes bisannuelles. Et l'on n'a pas signalé d'expérience pratique non plus concernant l'interruption de l'état dormant. Nous pouvons donc conclure que les expériences en terrain, effectuées jusqu'ici ne présagent pas encore d'application majeure de l'acide gibberellique en agriculture et qu'on devra élargir considérablement la portée des expériences en champ avant qu'on puisse émettre un jugement valide sur les possibilités.

CHIMIE DE L'ACIDE GIBBERELLIQUE

L'acide gibberellique est un acide carboxylique monobasique incolore fondant avec décomposition à 233–5°: il est doué d'activité optique ($[\alpha]_D^{20}$ + 92°). L'analyse et la détermination du poids moléculaire lui donne la formule $C_{19}H_{22}O_6$ [25]. C'est un dihydroxyacide puisqu'il donne des dérivés mono- et diacétyles qui fournissent chacun un ester monométhyle, tout comme l'acide même. Si on laisse l'acide en contact avec un excès d'alcali à la température ordinaire, un second équivalent est absorbé: si l'on tient compte en même temps de ce que le spectre infra-rouge de l'acide et de ses dérivés, dissous dans du dioxane, présente de fortes raies à 1780 cm^{-1}, on conclura à la présence d'une lactone-γ saturée cyclique. La microhydrogénation indique l'existence de deux liaisons éthyléniques. Les données précédentes tiennent compte de tous les atomes d'oxygène et indiquent que l'acide gibberellique est un acide tétracyclique dihydroxylactonique.

L'étude de deux produits de l'hydrolyse acide surtout ont fourni des renseignements supplémentaires sur la structure des noyaux. L'hydrolyse

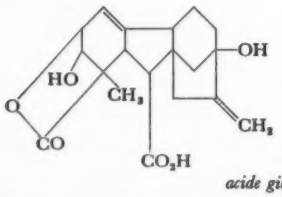
acide contrôlée (acide chlorhydrique normal à 20°) de l'acide gibberellique fournit, entre autres, l'acide *allo*gibberique ($C_{18}H_{20}O_3$), ainsi qu'une molécule d'anhydride carbonique; si l'hydrolyse a lieu à 100° l'acide *allo*gibberique s'isomérise en acide gibberique. Les preuves disponibles, résumées plus loin, nous permettent de représenter avec assurance la structure de ces deux produits d'hydrolyse comme suit:



acide allo*gibberique* *acide gibberique*

Toutefois l'établissement de la structure de ces deux dérivés ne permet pas d'assigner une structure définitive à l'acide gibberellique même. Toutes les données s'accordent avec la structure III ci-dessous, mais on ne peut encore exclure d'autres possibilités qui ont été résumées ailleurs [26]. La stéréochimie de l'acide gibberellique et sa parenté de structure avec les autres membres du complexe gibberelline A est encore inconnue.

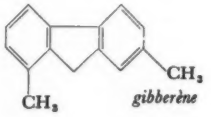
L'acide gibberique. C'est un acide cétonique puisqu'il donne une oxime, un ester méthyle et une esteroxime; la raie prononcée à 1741 cm^{-1} de son spectre infra-rouge indique que le groupe cétone se trouve dans un noyau à cinq atomes. Il ne contient pas de liaisons éthyléniques, mais le spectre ultra-violet confirme la présence d'un noyau benzénoïde.



acide gibberellique

L'oxydation à l'anhydride sélénieux donne l'acide gibberdionique $C_{18}H_{18}O_4$, une cétone cyclique jaune. Son spectre d'absorption ultra-violet est presque identique à celui de l'acide gibberique dissous dans l'éthanol ou dans la soude caustique. C'est significatif parce que les dicétones α dont les atomes de carbone adjacents portent un hydrogène s'énolisent aisément et ont, de ce fait, un spectre ultra-violet caractéristique qui diffère de celui de la monocétone de départ. Un noyau à cinq atomes de l'acide gibberique possède donc un groupe —CH_2—CO— situé de telle sorte que l'énolisation est empêchée.

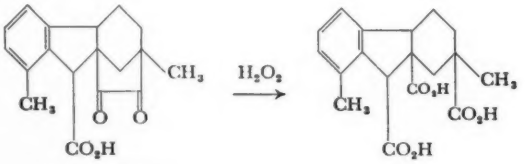
Son oxydation en acide benzène-tricarboxylique-1:2:3 et sa déshydrogénation avec le sélénium en un hydrocarbure, le gibberène, en fait le diméthyl-1:7-fluorène (IV), a prouvé l'existence du noyau hexahydro-5:6:7:8:12:13-diméthyl-1:7-fluorène. On a réussi une synthèse indubitable du



gibberène

gibberène même [27] en partant de l'acide amino-2-méthyl-5-benzoïque et du magnésien du bromure *o*-tolylique. On doit rejeter maintenant l'idée [28] qu'un acide dérivé du gibberène puisse être l'acide fluorénone-dicarboxylique-4:5 [29].

Il est clair qu'aucun réarrangement de structure ne se produit lors de la déshydrogénation au sélénium puisque le gibberène provient aussi de la déshydrogénation modérée de l'acide tricarboxylique (VI) formé par oxydation de l'acide gibberdionique (V) avec l'eau oxygénée alcaline. La

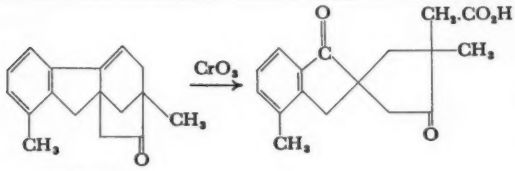


acide gibberdionique

V VI

déshydrogénation de l'acide gibberique au sélénium doit donc comprendre l'élimination du pont —CH_2—CO—; le groupe méthylène de ce pont est donc attaché à un atome de carbone quaternaire.

La position du groupe carbonyle du méthylène de l'acide gibberique est fixée de façon conclusive par la série suivante de réactions. L'oxydation au permanganate donne l'acide déshydrogibberique dont le spectre ultra-violet indique la présence d'une liaison éthylénique conjuguée au noyau benzénique. La décarboxylation de cet acide donne une cétone cyclique de cinq atomes, la gibberone. Celle-ci conserve la double liaison conjuguée qui doit être au même endroit qu'en (VII) puisque l'oxydation à l'aide d'oxyde chromique donne un acide indanone-carboxylique stable dans l'alcali (VIII). La constitution de VIII peut se déduire du fait que son oxydation au permanganate donne l'acide méthyl-3-phthalique et l'acide méthyl-β-tricarballylique.

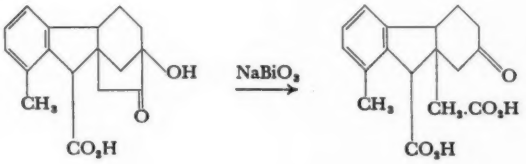


gibberone

VII VIII

Enfin, la position du groupe carboxyle de l'acide gibberique est prouvée par la déshydrogénation de gibberdionate de méthyle en carboxylate 9-diméthyl-1:7-fluorène de méthyle identique à un échantillon synthétique.

L'acide allo*gibberique*. Cet acide contient un noyau benzénoïde, un groupe méthylène de terminaison et un groupe hydroxyle qui semble tertiaire, pour deux raisons: il est difficile à acyler et l'on ne peut oxyder l'acide déshydro*allo*gibberique en cétone. Un réarrangement Wagner-Meerwein expliquerait l'isomérisation de l'acide gibberique. La position de son groupe carboxyle est la même que pour l'acide gibberique puisque l'*allo*gibberate de méthyle donne le gibberate de méthyle en présence d'acide chlorhydrique dilué. L'ozonolyse de l'acide *allo*gibberique donne de la formaldéhyde et un cétol α (IX) cyclique à cinq atomes que le bismuthate de sodium oxyde en



IX X

acide dicarboxylique (X). L'acide dicarboxylique déshydrogéné avec du sélénium fournit un hydroxy-7-méthyl-1-fluorène identique à celui qu'on obtient par synthèse de l'acide amino-2-méthoxy-5-benzoïque par une route semblable à celle qu'on a suivi pour la synthèse de gibberène [30].

BIBLIOGRAPHIE

[1] KUROSAWA, E. *Trans. nat. Hist. Soc., Formosa*, **16**, 213, 1926.

[2] YABUTA, T. et HAYASHI, T. *J. agric. chem. Soc., Japan*, **15**, 257, 1939.

[3] CURTIS, P. J. et CROSS, B. E. *Chem. and Ind.* 1066, 1954.
STODOLA, F. H., RAPER, K. B., FENNELL, D. I., CONWAY, H. F., SOHNS, V. E., LANGFORD, C. T. et JACKSON, R. W. *Arch. Biochem. Biophys.*, **54**, 240, 1955.
TAKAHASHI, N., KITAMURA, H., KAWARADA, A., SETA, T., TAKAI, M., TAMURA, S. et SUMIKI, Y. *Bull. agric. chem. Soc., Japan*, **19**, 267, 1955.

[4] YABUTA, T., SUMIKI, Y., KATAYAMA, E. et MOTOYAMA, K. *J. agric. chem. Soc., Japan*, **16**, 1157, 1940.

[5] KITAMURA, H., KAWARADA, A., SETA, Y., TAKAHASHI, N., OTSUKI, T. et SUMIKI, Y. *Ibid.*, **27**, 545, 1953.

[6] BORROW, A., BRIAN, P. W., CHESTER, V. E., CURTIS, P. J., HEMMING, H. G., HENEHAN, C., JEFFERYS, E. G., LLOYD, P. B., NIXON, I. S., NORRIS, G. L. F. et RADLEY, M. *J. Sci. Food Agric.*, **6**, 340, 1955.

[7] BRIAN, P. W., ELSON, G. W., HEMMING, H. G. et RADLEY, M. *Ibid.*, **5**, 602, 1954.

[8] BRIAN, P. W. et HEMMING, H. G. *Physiol. Plant.*, **8**, 669, 1955.

[9] BRIAN, P. W. *Symp. Soc. exp. Biol.*, **11**, 1957. (Sous presse.)

[10] BUKOVAC, M. J. et WITTWER, S. H. *Quart. Bull. Mich. Agric. Exp. Sta.*, **39**, 307, 1956.

[11] MORGAN, D. G. et MEES, G. C. *Nature, Lond.*, **178**, 1356, 1956.

[12] MARTH, P. C., AUDIA, W. V. et MITCHELL, J. W. «Gibberellic Acid—A Plant Regulator». U.S. Dept. of Agriculture, Beltsville, Maryland. 1956.

[13] AUDUS, L. J. *Endeavour*, **14**, 205, 1955.

[14] BRIAN, P. W., HEMMING, H. G. et RADLEY, M. *Physiol. Plant.*, **8**, 899, 1955.

[15] KATO, J. *Mem. Coll. Sci. Kyoto, Ser. B*, **20**, 189, 1953.

[16] BRIAN, P. W. et HEMMING, H. G. *Nature, Lond.*, **179**, 417, 1957.

[17] LANG, A. *Naturwissenschaften*, **11**, 257, 1956.
Idem. Ibid., **11**, 284, 1956.

[18] KNAPP, R. *Z. Naturforsch.*, **11b**, 698, 1956.

[19] LONA, F. *Ateneo Parmense*, **27**, 641, 1956.

[20] PHINNEY, B. O. *Proc. Nat. Acad. Sci., Wash.*, **42**, 185, 1956.

[21] MITCHELL, J. W., SKAGGS, D. P. et ANDERSON, W. P. *Science*, **114**, 159, 1951.

[22] WEST, C. A. et PHINNEY, B. O. *Plant Physiol. (Suppl.)*, **31**, 20, 1956.

[23] RADLEY, M. *Nature, Lond.*, **178**, 1070, 1956.

[24] LONA, F. et BOCCHI, A. *Riv. int. Agric.*, No. 7, 1956.

[25] CROSS, B. E. *J. chem. Soc.*, 4670, 1954.

[26] CROSS, B. E., GROVE, J. F., MACMILLAN, J. et MULHOLLAND, T. P. C. *Chem. and Ind.*, 954, 1956.

[27] MULHOLLAND, T. P. C. et WARD, G. *J. chem. Soc.*, 4676, 1954.

[28] YABUTA, T., SUMIKI, Y., AZABU, K., TAMURA, T., MARASHI, H. et TAMARI, K. *J. agric. chem. Soc., Japan*, **16**, 975, 1940.

[29] MULHOLLAND, T. P. C. et WARD, G. *J. chem. Soc.*, 2415, 1956.

[30] MULHOLLAND, T. P. C. Communication personnelle.

Revue des livres

SCIENCES GÉNÉRALES

CARDWELL, D. S. L.: *The Organisation of Science in England.* Pp. IX + 204. William Heinemann Ltd., Londres. 1957. 18s.

M. Cardwell a fait ici œuvre très utile en relatant l'évolution de l'enseignement technique et scientifique en Angleterre de 1800 à la fin de la première guerre mondiale. Sa chronique est bien documentée. Il a bien résumé les principaux aspects de cette histoire confuse mais captivante et mis en relief quelques-uns des pionniers de l'éducation scientifique: Brougham, Birkbeck, Babbage, Lyon Playfair, James Hole et Booth. Il y a un bon exposé du rôle joué par les cercles d'artisanat, la *Royal Society of Arts*, la *British Association* et les commissions d'enquête diverses qui firent suite à la Grande Exposition de 1851.

L'auteur s'est sagement abstenu de faire trop d'explications et de généralisations. Presque chaque page soulève des points d'interrogation. Pourquoi l'enseignement technique anglais a-t-il évolué si différemment de celui de l'Allemagne? Et si l'Europe continentale avait une telle avance dans ce domaine, pourquoi employait-elle tant d'artisans anglais vers 1860–70? La répugnance d'Oxford et de Cambridge à se réformer au milieu du siècle a-t-elle retardé ou accéléré le progrès des universités provinciales anglaises? Et ainsi de suite. Il faudrait une étude beaucoup plus poussée que celle-ci (dans le cas des sources étrangères surtout) pour répondre à ces questions. Le mérite de cette œuvre est d'attirer l'attention sur elles et c'est une contribution intéressante et significative.

Le terrain traité correspond si exactement à celui des chapitres 8–11 des *Civic Universities* du Professeur Armytage que la comparaison s'impose. Cardwell n'a pas la précision et la clarté de ce dernier et ne possède pas non plus si complètement ses faits. Il y a quelques erreurs de rédaction peu importantes mais irritantes, comme l'attribution inexacte d'initiales, de titres et même de diplômes universitaires. Défaut plus sérieux: l'insuffisance de l'index, partie essentielle d'une chronique de ce genre. Mais ce sont là des points de détail; le volume fait un apport de valeur à l'histoire de l'enseignement et nous félicitons l'auteur d'avoir su renfermer un sujet si vaste en si peu de place.

E. ASHBY

ASTRONOMIE

ABETTI, G.: *The Sun*, traduit par J. B. Sidgwick. Pp. 336. Faber and Faber, Londres. 1957. 63s.

Le livre du professeur Abetti parut pour la première fois en 1934 sous le titre *Il Sole* et constitue, depuis cette date, l'exposé le plus complet des questions complexes concernant les taches et autres aspects de la surface solaire, avec leurs changements de forme et de position. C'est un ouvrage de référence classique, dont une traduction anglaise parut en 1938.

Une seconde édition italienne, revue et augmentée, fut publiée en 1951. Dans l'intervalle, la physique solaire fit de grands progrès. L'importance et la signification des éruptions, en particulier, devinrent l'objet d'études poussées; on découvrit et étudia les émissions radio-électriques solaires en période de calme et en provenance des zones agitées; on trouva aussi l'origine des lignes spectrales coronales et beaucoup de travaux furent consacrés à la physique de la couronne. On apprit beaucoup sur la constitution du soleil et la source de l'énergie stellaire.

La publication d'une traduction anglaise de la seconde édition est la bienvenue. Les progrès de la recherche solaire ont été si rapides que la révision de l'œuvre et des additions s'imposaient. C'est ce qu'a fait le professeur Abetti en vue de la nouvelle traduction. Cette dernière édition comprend toutes les découvertes récentes et sera lue avec le même profit par amateurs et professionnels. Les nombreuses planches, soigneusement choisies pour illustrer les appareils d'observation et les divers phénomènes solaires, augmentent considérablement la valeur de l'ouvrage. Il y a, en outre, 97 figures dans le texte.

H. SPENCER JONES

PHYSIQUE

ANDRADE, E. N. DA C.: *An Approach to Modern Physics.* Pp. IX + 232. G. Bell & Sons Ltd., Londres. 1956. 25s.

Comme l'auteur l'indique dans la préface, ce livre est une nouvelle édition considérablement remaniée et étendue de celui qu'il avait publié en 1930 sous le titre *The Mechanics of Nature* et qui avait été ensuite plusieurs fois réédité. Mais la rédaction actuelle, qui tient compte de tous les progrès de la physique dans les trente dernières années, est au moins deux fois plus longue que la rédaction primitive.

L'ouvrage se présente comme une suite de «causeries» sur les diverses branches de la physique, de promenades intellectuelles pourrait-on dire, qui nous font repasser rapidement toutes les étapes que la physique a franchies depuis les origines de la science moderne jusqu'à nos jours. Possédant une connaissance approfondie de son sujet, joignant à l'expérience d'un physicien de haute valeur une très vaste culture générale, M. da C. Andrade a parsemé son exposé, parfois avec une pointe d'humour, de remarques profondes qui feront réfléchir le lecteur, de rapprochements suggestifs et d'instructives citations d'auteurs illustres. Par l'une de celles-ci, on sera par exemple surpris d'apprendre que Newton avait, dans une intuition prophétique, prévu les dangers que pouvait faire courir à l'humanité la découverte des moyens de réaliser la transmutation des éléments.

Le plan de l'ouvrage se déroule méthodiquement en suivant un ordre à la fois logique et historique. Après avoir résumé dans une introduction le rôle de la physique et la portée exacte qu'il convient d'attribuer à ses découvertes et à ses théories, M. da C. Andrade nous parle successivement de la chaleur et de l'énergie, du son et des vibrations, de la lumière et des radiations, de l'électricité et des particules électrisées, des solides et des liquides, de la théorie des quanta, de la structure de l'atome, de la structure du noyau, des applications de l'énergie nucléaire et finalement des incertitudes de Heisenberg.

Le lecteur est ainsi peu à peu entraîné par un guide sûr et habile vers des régions de plus en plus profondes de la physique jusqu'aux extraordinaires découvertes de la science contemporaine. Il sera frappé par la clarté et l'originalité de l'exposition, l'aisance avec laquelle l'auteur nous initie aux problèmes les plus difficiles et le talent qu'il déploie pour mettre en lumière les relations cachées des choses. On s'intéresse particulièrement au chapitre qu'il a réservé aux solides et aux liquides, question qu'il connaît dans tous ses détails et à laquelle il a consacré de nombreux et remarquables travaux personnels, ainsi qu'aux deux chapitres traitant des noyaux et des applications de l'énergie nucléaire où il a donné un saisissant tableau des extraordinaires progrès de la physique nucléaire depuis une trentaine d'années.

Le dernier chapitre traite des relations d'incertitude et analyse les idées nouvelles qui se sont introduites à leur suite dans les théories physiques. M. da C. Andrade expose, avec beaucoup de largeur d'esprit, ces idées nouvelles et les controverses qui se sont élevées à leur sujet. Rappelant que les principes de l'Ethique ont une permanence que n'ont jamais les conceptions des physiciens, il souligne fort justement qu'il est vain de vouloir fonder des doctrines philosophiques définitives sur le sable mouvant des résultats toujours provisoires de la Science.

En résumé, le livre de M. da C. Andrade est un bel ouvrage qui nous offre un magnifique panorama des fulgurants progrès de la physique moderne et contemporaine et où s'affirme la vigueur d'une pensée à la fois pondérée et pénétrante, riche d'expériences et de connaissances.

LOUIS DE BROGLIE

SOUTHWELL, Sir Richard: *Relaxation Methods in Theoretical Physics*, Vol. II. Pp. VI + 522. Clarendon Press, Oxford. 1956. 55s.

Second volume d'un traité sur les méthodes de relaxation en physique théorique dont le premier parut en 1946. Le nouveau tome inclut des questions plus complexes que les restrictions du temps de guerre avaient empêché de traiter dans le premier volume. Elles comprennent l'analyse biharmonique, les systèmes de tension dans les solides de révolution, les valeurs «eigen», certains aspects de la stabilité élastique et quelques problèmes non-linéaires intéressants d'élasticité; l'hydrodynamique et la plasticité sont aussi étudiées. La grande valeur de l'ouvrage réside non seulement dans la variété et l'importance des points envisagés mais dans les progrès techniques des méthodes de relaxation décrits. L'impression et les illustrations sont excellentes mais on note une certaine mélancolie, comme si l'auteur faisait ses adieux définitifs au public. Qu'il ait atteint son but est incontestable, mais nous souhaitons vivement que Sir Richard Southwell trouve de nouveaux mondes à conquérir et de nouveaux ouvrages à publier.

G. TEMPLE

SWAINGER, K.: *Analysis of Deformation*. Vol. III, *Fluidity*. Pp. XXVII + 266. Chapman and Hall Ltd., Londres. 1956. 65s.

Ce volume traite de la déformation au point de vue de la fluidité. L'auteur y fait la critique du point de vue classique sur la question et y expose sa propre théorie du mouvement fluide, qui a pour caractéristique essentielle le rejet du terme d'accélération convective non-linéaire dans la forme d'Euler de l'équation de tension de mouvement.

Le chapitre d'introduction est suivi de l'exposé de la formulation mathématique de la théorie de l'auteur et de la théorie classique. Le reste de l'ouvrage, excepté quelques suppléments mathématiques superflus, s'occupe d'applications à des sujets tels que l'écoulement visqueux et la fluidité résultant de la tension.

La plupart des remarques faites au moment de la revue des Volumes I et II s'appliquent ici et n'ont pas besoin d'être réitérées, mais il vaut la peine de noter que, dans ce cas, il faut 7 pages pour rapporter la «Notation Principale». Cela donne une idée de la difficulté des nombreuses équations qui émaillent si abondamment le livre. L'auteur avoue la tentation de développer l'œuvre présente et fait entrevoir une seconde édition. Il aurait peut-être mieux valu attendre que le sujet se soit clarifié avant d'écrire cette série.

L. S. GODDARD

COWLING, T. G.: *Magnetohydrodynamics*. Pp. VIII + 115. Interscience Publishers Inc., New-York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1957. Cartonné, $3,50; broché, $1,75.

L'étudiant moyen de physique possède d'ordinaire quelques notions sur la question de l'origine du champ magnétique terrestre et peut avoir fait quelques lectures sur la théorie expliquant son existence par la comparaison avec une dynamo. Mais il est douteux qu'il se rende compte que cette théorie n'est qu'un exemple des nombreuses applications de l'hydrodynamique magnétique, étude du mouvement des fluides conducteurs d'électricité en présence de champs magnétiques. Cet excellent petit livre donnera un aperçu d'un bon nombre de ces applications captivantes aux problèmes de l'équilibre des taches solaires, des flèches de la couronne et des filaments du soleil, de la rotation stellaire, des étoiles magnétiques variables et des gaz ionisés. L'auteur essaie aussi d'expliquer la couleur sombre des taches par l'inhibition magnétique des courants de convection. On y trouvera des expériences sur le déplacement du mercure et du sodium liquide et on pensera peut-être que voici une branche nouvelle de la science qui mérite bien une étude plus poussée.

L. F. BATES

KITTEL, Charles: *Introduction to Solid State Physics* (2e édition). Pp. XVII + 617. John Wiley & Sons Inc., New-York; Chapman and Hall Ltd., Londres. 1956. 96s.

La physique des solides a de quoi satisfaire tous les goûts en science. Le naturaliste peut collectionner les dessins de croissance dans les cristaux, le «Chimiste Sceptique» douter de la possibilité réelle d'explication des phases complexes d'alliage à 57 atomes par cellule à l'aide des zones de Brillouin. Pour ceux qui aiment le calcul, il y a assez d'opérations dans l'évaluation des bandes d'énergie pour occuper tous les calculateurs électroniques du monde. La supraconductivité défie les esprits des plus profonds en physique théorique. L'ingéniosité expérimentale peut s'amuser avec les «favoris d'étain» et les dislocations de réseaux.

Depuis sa publication, il y a 3 ans seulement, l'ouvrage est devenu (aux Etats-Unis surtout) le principal visa d'entrée dans ce domaine fabuleux. La nouvelle édition a été allongée de moitié (le prix a subi une majoration sensiblement supérieure). Bon nombre de sections ont été augmentées pour inclure des matériaux nouveaux ou améliorer l'exposé. L'ordre des chapitres est différent et on trouve maintenant plusieurs chapitres entièrement nouveaux. L'ouvrage n'a pas perdu la clarté, le style vivant et direct et le don d'offrir une explication «physique» simple de l'original. Quelques points de détail sont discutables et il y a des signes de hâte dans la disposition du texte et la correction des épreuves, mais ce sont des défauts négligeables dans une œuvre extrêmement utile, indispensable pour apprendre, enseigner et rappeler ce que tout physicien des solides doit connaître.

J. M. ZIMAN

MEREDITH, R., publié sous la direction de: *The Mechanical Properties of Textile Fibres*. Pp. XII + 333. North-Holland Publishing Co., Amsterdam. 1956. 61s.

La physique des fibres a beaucoup gagné en étendue et en importance ces dernières années et a attiré l'attention d'un nombre croissant de spécialistes. Cette monographie fait partie d'une série sur la rhéologie de la déformation et de l'écoulement dans les produits naturels et synthétiques. Ses auteurs méritent toutes nos félicitations pour avoir mené à bien une œuvre si utile.

Le livre est le premier en son genre et se propose d'exposer assez en détail les propriétés mécaniques des fibres par rapport à ce que l'on connaît de leur structure.

Des principes fondamentaux servent de point de départ à l'étude des 3 groupes principaux de fibres textiles: cellulosiques, protéiques et synthétiques. Après avoir traité brièvement de la constitution de ces groupes, les auteurs exposent leurs points saillants et les relient à certains aspects des fibres aussi importants que la relaxation et le fluage, les rapports tension-effort, la force, les propriétés dynamiques et mécaniques ainsi que l'élasticité. L'étude n'est pas encombrée de détails superflus. L'ouvrage rendra grand service à tous ceux qui s'intéressent à la physique des fibres.

R. HILL

CHIMIE

BOSWORTH, R. C. L.: *Transport Processes in Applied Chemistry*. Pp. x + 387. Sir Isaac Pitman & Sons Ltd., Londres. 1956. 84s.

Ce volume est le troisième de l'auteur sur des questions de physique d'importance fondamentale dans bon nombre d'opérations de l'industrie chimique.

Son deuxième ouvrage, paru en 1952, passait en revue les découvertes récentes dans le transfert de chaleur et envisageait ce dernier comme un phénomène de transport essentiellement comparable à la diffusion de la matière, à la quantité de mouvement et aux charges électriques. Ce nouveau volume en est le prolongement, traitant d'une plus grande variété de processus et les poussant plus loin jusqu'à inclure même des opérations industrielles complètes. L'auteur s'occupe de l'importance et du mécanisme des phénomènes de transport par mouvement moléculaire et du transfert par radiation et convection. Il y a des chapitres sur le transport à turbulence et interphasé, l'irréversibilité, la rétroaction, les opérations en cascade et la similitude chimique. Les méthodes de mesure de l'efficacité des procédés de transport sont formulées et le dernier chapitre traite d'aspects plus vastes de ces phénomènes avec des considérations sur la force motrice et le coût définitif des opérations industrielles et l'efficacité de l'utilisation de l'énergie.

Chaque chapitre constitue une revue brève mais utile d'un sujet particulier. Fait qui, ajouté au traitement mathématique unifié d'une très grande variété de processus de transport, rendra le livre indispensable aux ingénieurs chimistes des universités et de l'industrie désirant acquérir sur ces divers aspects des procédés industriels une connaissance plus approfondie que par les méthodes classiques d'opérations individuelles.

C. M. NICHOLLS

HAYWOOD, F. W. et WOOD, A. A. R.: *Metallurgical Analysis by means of the Spekker Photoelectric Absorptiometer*. Hilger and Watts Ltd., Londres. 1956. 40s.

Publié pour la première fois en 1944, ce livre sur l'analyse colorimétrique a été complètement revu et mis à jour par A. A. R. Wood à la lumière des nombreux progrès récents dans ce domaine. Cet auteur prit part à l'étude et au perfectionnement de l'appareil de Spekker et publia plusieurs articles sur les méthodes d'analyse d'éléments spécifiques. La première partie traite des principes d'analyse colorimétrique et donne des détails de construction, fonctionnement et entretien sur les deux modèles existants de l'absorptiomètre photoélectrique Spekker. La seconde partie présente des méthodes choisies d'analyse d'éléments trouvés d'ordinaire dans les alliages à base d'aluminium, cuivre, zinc et magnésium respectivement et dans les aciers les plus courants. Une bibliographie abondante sur la période 1940–54 renferme des articles originaux sur la détermination de 22 éléments par analyse colorimétrique avec l'absorptiomètre Spekker. Le supplément donne des renseignements utiles avec des tables donnant la composition moyenne de divers métaux et alliages capables de servir d'étalons chimiques dans ce genre d'analyse. Le manuel sera indispensable dans tous les laboratoires utilisant l'appareil de Spekker.

B. W. MOTT

GAYLORD, N. G.: *Reduction with Complex Metal Hydrides*. Pp. XVI + 1046. Interscience Publishers Inc., New-York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1956. $15.

La réduction des composés organiques par l'hydrure d'aluminium lithium fut décrite pour la première fois il y a un peu plus de dix ans. Les organiciens se rendirent compte immédiatement de l'importance d'un réactif capable, par exemple, de réduire un ester en alcool dans de l'éther froid. Depuis cette date, les emplois de l'hydrure d'aluminium lithium et corps apparentés comme le borohydrure de sodium ont été multiples et une monographie complète s'impose. Le vide est maintenant comblé et nous avons là une revue détaillée, et souvent critique, de la préparation et des réactions des hydrures métalliques complexes comprenant aussi les moins courants comme l'hydrure d'aluminium magnésium et de gallium lithium, jusqu'en janvier 1953.

L'auteur étudie systématiquement les hydrures un à un, leurs réactions avec les réactifs inorganiques et les divers groupes organiques, terminant par plusieurs chapitres sur le maniement expérimental des hydrures. Les progrès récents de la chimie des hydrures ne figurent pas; malgré cela, le volume sera indispensable aux laboratoires de chimie organique. Malheureusement, peu de chimistes pourront se le procurer personnellement vu son prix élevé.

T. G. HALSALL

ACHESON, R. M.: *Acridines*. Pp. XII + 409. Interscience Publishers Inc., New-York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1956. $12,50.

La valeur de ce 9e volume de la série de monographies *Interscience* sur la chimie des composés hétérocycliques est évidente dès la première lecture. Cette étude du groupe principal de dérivés de l'acridine est bien divisée en 9 chapitres, dont plusieurs sur les alcaloïdes de l'acridine, les spectres d'absorption de ces corps (L. E. Orgel) et les acridines à rôle biologique.

La comparaison avec la monographie parue en 1951 du Professeur Adrien Albert est inévitable. Les deux volumes sont de plan différent et envisagent le sujet d'un angle opposé. Le premier renfermait de nombreuses préparations détaillées et reflétait nettement la longue expérience de son auteur. L'ouvrage d'Acheson est beaucoup plus classique mais tient compte de la littérature jusqu'en 1954. Sept pages entières sont consacrées à la discussion de la nomenclature et du numérotage et il y a une courbe comparant les fréquences avec lesquelles sont employées les méthodes de Graebe et Richter sur ce point. Albert utilisa le système de Richter, mais Acheson, se basant sur le point de vue statistique, décida d'adopter celui de Graebe que l'on retrouve dans les *Chemical Abstracts*.

On pourrait craindre que les deux ouvrages se répètent, mais ils sont excellents tous les deux, chacun à sa façon.

K. SCHOFIELD

CRISTALLOGRAPHIE

PORTER, M. W. et SPILLER, R. C.: *The Barker Index of Crystals*, Vol. II, 1ère partie Pp. 383; 2e partie, Pp. 1800; 3e partie,

Pp. 1772. W. Heffer & Sons Ltd., Cambridge. 1956. 200s.

L'index Barker permet d'identifier un corps par la comparaison de ses angles cristallins avec des valeurs connues. Plus de la moitié des mesures données appartiennent à des cristaux monocliniques et le volume II où ils sont traités est naturellement développé. Pour classer 3572 corps par ordre d'angle croissant *am* entre les faces (100) et (110), il faut choisir une disposition particulière, des axes cristallographiques, une orientation et des indices. La position étant fixée par le développement des faces selon les règles formulées, des habitudes cristallines diverses peuvent nécessiter des positions différentes. C'est le cas d'un tiers environ des 150 premiers corps.

A part leur utilité possible en analyse, les volumes forment une collection remarquable de renseignements morphologiques. On y trouve tous les cristaux monocliniques inclus dans la *Chemische Kristallographie* de Groth, plus quelques autres. C'est un travail qui fait autorité, car des fautes de calcul commises par des chercheurs originaux, dont on retrouve un grand nombre dans Groth, ont été découvertes et corrigées au cours des mises en place.

Parmi les suppléments d'information qui seront les bienvenus, citons des tables d'indices de réfraction, de densités et de points de fusion, ainsi que des index sous diverses formes et des renvois à l'index des rayons X de l'*American Society for Testing Materials*.

L'introduction de M. H. Hey supplémente les exposés du volume I (1ère partie) en décrivant les applications spéciales de la méthode Barker au système monoclinique.

Une lacune, évidente à la parution du volume I, a été comblée par l'addition importante d'une page de brèves indications à l'usage des cristallographes expérimentés. H. M. POWELL

GÉOPHYSIQUE

BALMER, H.: *Beiträge zur Geschichte der Erkenntnis des Erdmagnetismus*. Pp. 892. Verlag H. R. Sauerländer & Co., Aarau. 1956. 31,10 frs. Suisses.

Cette œuvre de 892 pages est une thèse de doctorat amplifiée. La première partie relate l'histoire du magnétisme depuis ses débuts jusqu'à l'heure actuelle. La seconde renferme des traductions en allemand de la plupart des classiques sur le sujet, dont la lettre de Petrus Peregrinus, la totalité du *De Magnete* de Gilbert, le *Havenvinding* de Stevin, quelques lettres de Kepler et autres documents nombreux. Cette partie rendra grand service aux lecteurs de langue allemande, bien que la plupart des lettres existent déjà en anglais et en français. La troisième partie étudie deux mythes persistants du géomagnétisme: l'existence d'une énorme montagne magnétique et la possibilité de communication à grande distance par des aimants. Il y a aussi 200 pages de brèves notices biographiques sur près d'un millier de personnes associées à l'histoire du géomagnétisme et un exposé sur l'évolution du sujet en Suisse.

Comme l'indique l'auteur, l'œuvre est beaucoup plus un recueil qu'une histoire, car il rassemble toutes sortes de renseignements intéressants sans discussion approfondie. La connaissance de la déclinaison magnétique par les Chinois au XIIe siècle, par exemple, est acceptée sans mention des doutes ressentis par la plupart des commentateurs à ce sujet. Les histoires scientifiques modernes citées sont étonnamment peu nombreuses; l'exposé sur Halley, par exemple, repose largement sur le *Kosmos* de Humboldt et ne mentionne pas les livres de MacPike; la traduction et le commentaire de Silvanus Thompson sur le *De Magnete* sont aussi passés sous silence. E. C. BULLARD

BIOLOGIE

HAÏSSINSKY, M., publié par: *Actions chimiques et biologiques des radiations*. Pp. VI + 221. Masson et Cie, Paris. 1956. Relié, 3400 frs.; broché, 2800 frs.

La seconde de cette série de monographies est faite de trois articles. W. Mund expose les effets chimiques produits par le passage de radiations ionisantes dans les gaz et fait deux études spéciales détaillées des réactions minérales et organiques causées par les radiations. M. Ageno décrit les phénomènes de luminescence résultant des rayons à forte puissance et présente les méthodes récentes et les résultats de l'étude des phénomènes de scintillement. L'introduction de N. Miller à la dosimétrie des radiations est extrêmement bien faite et rendra grand service dans de nombreux domaines. Tous les articles, et celui de M. Ageno en particulier, maintiennent un lien parfait entre la théorie et la pratique. L'importance des méthodes employées dans les domaines divers est justement soulignée, car le lecteur peut ainsi se rendre compte plus nettement de certaines des difficultés rencontrées et en même temps augmenter ses connaissances pratiques. Le supplément renferme des coefficients de conversion applicables aux constantes physiques et des détails pratiques de dosimétrie des radiations. Une seule critique: le texte a parfois tendance à déborder sur les figures. A part cela, la monographie sera une acquisition de valeur dans toute bibliothèque scientifique.

D. B. ROODYN

BIOCHIMIE

POPJAK, G. et LE BRETON, E., publié sous la direction de: *Biochemical Problems of Lipids* (Compte rendu de la Seconde Conférence Internationale tenue à l'Université de Gand du 27 au 30 juillet 1955). Pp. XVI + 505. Butterworths Scientific Publications, Londres; Interscience Publishers Inc., New-York. 1956. 70s.

Les connaissances chimiques et biochimiques des lipides ont augmenté considérablement ces cinq dernières années, surtout grâce aux méthodes nouvelles de la chromatographie à papier et gaz-liquide et à la découverte du coenzyme A et de son rôle dans le métabolisme des acides gras. Les enzymes responsables de la β-oxydation et de la synthèse de ces acides ont été reconnus et isolés, ce qui a conduit à une connaissance détaillée du métabolisme intermédiaire des acides gras. La biochimie des phospholipides et du transport des graisses ainsi que l'étude de leur rôle dans la nutrition (acides gras non saturés en particulier) ont aussi progressé considérablement. Le livre résume et examine toutes ces acquisitions et nombreux autres aspects de la question. On y trouve 69 articles (en anglais, pour la plupart; quelques-uns sont en français ou allemand), ainsi qu'un bref rapport des discussions qui firent suite à la présentation des articles. De nombreuses autorités dans ce domaine y ont contribué et l'ensemble constitue un exposé de valeur des recherches actuelles et récentes sur la biochimie des lipides. H. A. KREBS

BURNET, Sir Macfarlane: *Enzyme Antigen and Virus*. Pp. VIII + 193. Cambridge University Press, Londres. 1956. 18s.

L'auteur est bien connu pour ses apports en virologie animale et pour ses réflexions suggestives sur des questions plus vastes de biologie et de médecine.

Ce volume développe les théories formulées en 1949 par Burnet et Fenner dans leur monographie *The Production of Antibodies* et essaie de relier la formation

des anticorps aux découvertes récentes sur la synthèse des enzymes adaptifs et la croissance des virus. Dans ces trois cas, la cellule reçoit une excitation qui lui fait produire une protéine d'un type nouveau. La discussion n'est pas toujours facile à suivre mais elle conduit finalement l'auteur à proposer une théorie d'information générale basée sur l'arrangement macromoléculaire que les techniques du physicien et du chimiste ne pourront pas interpréter entièrement.

L'œuvre attirera probablement des critiques de la part des spécialistes des domaines divers auxquels elle touche, mais l'acceptation aveugle d'hypothèses sans fondements solides répugnerait profondément à l'auteur, même si cela était possible dans un groupe de sujets évoluant si rapidement. Peu de biologistes auraient dans la même mesure que Sir Macfarlane Burnet la force d'imagination et de conception qu'il faut pour entreprendre une œuvre de cette envergure. M. STOKER

BOTANIQUE

HAGERUP, O. et PETERSSON, V.: *Botanisk Atlas*. Pp. 550. Ejnar Munksgaard, Copenhague. 1956. Toile, DKr. 96; cuir, DKr. 125.

L'œuvre est avant tout un recueil de dessins de plantes originaires du Danemark ou y ayant été introduites intentionnellement ou non. Bon nombre d'entre elles se trouvent aussi dans les pays voisins et sont communes en Angleterre méridionale, par exemple. Des dessins donnent l'habitus de chaque plante. Ils ont été exécutés en contours fins et clairs et, dans la plupart des cas, avec un minimum d'ombres par Vagn Petersson. Ils donnent, en général, une bonne idée de tous les caractères de la plante, mais les herbes et les labiées entre autres ont tendance à être représentées exclusivement par leur inflorescence.

La grande majorité des dessins furent exécutés à partir de plantes sur pied, mais les potamogétons proviennent d'herbiers. Olaf Hagerup a fourni de très nombreux grossissements de détails qui groupent bien avec les dessins d'habitus. Les sujets ont été choisis non seulement pour leurs caractères d'identification mais pour illustrer les formes et stades biologiques. Ils remplissent d'ordinaire admirablement leur but, mais les grossissements ne sont malheureusement pas indiqués. Quelques pages sont aussi consacrées aux caractères généraux de familles plus nombreuses telles que celles des graminées, orchidées et ombellifères. Le livre est très élégamment présenté sur un grand format, 20 × 27 cm, permettant une représentation presque nature de la plupart des espèces. Les botanistes seront grandement redevables aux auteurs.

W. O. JAMES

COBLEY, Leslie S.: *An Introduction to the Botany of Tropical Crops*. Pp. xv + 357. Longmans, Green & Co. Ltd., Londres. 1956. 37s. 6d.

Il est impossible de traiter plus de quelques aspects d'un sujet aussi varié que la botanique des cultures tropicales dans un manuel de taille normale. L'auteur s'est efforcé de faire une revue complète de la question, décrivant plus de 150 espèces et en mentionnant brièvement un nombre équivalent. Les cultures sont groupées en 12 chapitres d'après les produits résultants: céréales, fibres, graines oléagineuses, etc. Les renseignements donnés comprennent généralement la classification de la plante, son origine et la répartition de sa culture, sa description morphologique grossière et des notes sur son emploi. D'autres aspects d'importance égale pour le botaniste économiste tels que le vieillissement des récoltes et les méthodes de reproduction sont passés sous silence ou à peine traités.

Dans les limites de son choix, l'auteur a fait œuvre utile et les éditeurs l'ont bien secondé. La documentation est exacte. Les 82 planches et 66 figures ont été judicieusement choisies pour compléter le texte. Une liste d'ouvrages à consulter termine chaque chapitre. L'ouvrage s'adresse aux étudiants agronomes, mais il sera particulièrement utile à ceux qui en nombre croissant reçoivent leur formation agricole dans les tropiques.

E. E. CHEESMAN

ZOOLOGIE

HARDY, Alister C.: *The Open Sea: Its Natural History: The World of Plankton*. Pp. xv + 335. Collins, Londres. 1956. 30s.

Le Professeur Hardy est bien connu pour son enthousiasme, particulièrement dans le domaine du plancton. Comme il convient au titulaire de la chaire de Zoologie et d'Anatomie comparée de l'Université d'Oxford, cet enthousiasme est bien informé et exceptionnellement bien dirigé. Ce qui ne veut pas dire que l'ouvrage soit parfait: l'enthousiasme engendre la verbosité et celle-ci, tout en retenant l'attention sur le moment, rend les références souvent difficiles par la suite. Au premier abord, il semble que des photographies ou des figures exactes seraient mieux à leur place que des aquarelles dans un livre de ce genre, mais au bout de quelque temps, on se rend au mode d'illustration du Professeur Hardy. Ses aquarelles donnent, en effet, une bien meilleure idée des organismes planctoniques vivants qu'aucune photographie ou figure, mais il y a aussi d'excellentes photographies et des figures dues au Dr D. P. Wilson et fournissant des détails exacts. Cette impression générale, jointe à l'exactitude des détails, fait probablement de l'ouvrage le meilleur exemple de son espèce. Il profitera également au lecteur moyen, n'étant pas trop technique, et à l'étudiant. Le professeur d'Université même le trouvera intéressant. D. B. CARLISLE

BELLAIRS, Angus d'A.: *Reptiles*. Hutchinson's University Library, Londres. 1957. 10s. 6d.

Les reptiles d'aujourd'hui se divisent en 4 classes nettement définies: tortues de terre et de mer, le tuatara, lézards et serpents, crocodiles. Les formes disparues révèlent une diversité d'organisation beaucoup plus grande et ce n'est que par leur étude que l'on peut explorer à fond l'anatomie reptilienne. Les espèces les plus anciennes parurent à l'époque carbonifère. Les reptiles dominèrent complètement l'ère mésozoïque qui dura quelque 120 millions d'années et que l'on appelle aussi l'Age des Reptiles. Les ordres géants disparurent vers la fin de la période crétacée.

Il faut un courage considérable pour faire une revue complète de nos connaissances sur les reptiles en un volume limité, mais Angus d'A. Bellairs s'est acquitté de sa tâche avec succès. Il initie d'abord le lecteur aux caractères anatomiques et physiologiques principaux de l'organisme reptilien. Il décrit ensuite les grandes classes de reptiles vivants et disparus et conclut l'étude par la biologie des lézards et des serpents. Le texte est agrémenté de 12 figures et de nombreuses illustrations et la liste d'ouvrages à consulter donne les titres les plus importants de la littérature sur le sujet. Nous remercions l'auteur de son œuvre, espérant qu'elle aura grand succès, surtout auprès des étudiants. E. KUHN-SCHNYDER

MÉDECINE

BOYD, J. D., LE GROS CLARK, Sir Wilfrid, HAMILTON, W. J., YOFFEY, J. M., ZUCKERMAN, Sir Solly et

APPLETON, A. M.: *Textbook of Human Anatomy*. Pp. XII + 1022. Macmillan & Co. Ltd., Londres; St. Martin's Press, New-York. 1956. 100s.

Le cours normal d'anatomie humaine est invariablement la cible principale des ennemis de l'énorme amas de connaissances factuelles que doit absorber l'infortuné étudiant en médecine d'aujourd'hui.

Ce nouveau manuel essaie de remédier à la situation. Il y réussit, en partie par des omissions, comme dans la section sur le système locomoteur, par exemple, où une bonne partie des détails fastidieux sur les attaches musculaires et de l'ostéologie classique a été supprimée et, en partie, par la découverte de rapports structure-fonction, ce qui facilite la lecture et l'assimilation du texte. Cette dernière méthode n'est nulle part mieux illustrée que dans la section du Professeur Zuckerman sur les glandes à sécrétion interne. L'excellent exposé du Professeur Le Gros Clark sur le système nerveux central n'occupe que 129 pages et fait des omissions judicieuses, mais certains penseront peut-être que la formation réticulaire du cerveau mérite un peu plus des deux lignes qui lui sont allouées. Il y a aussi un exposé suffisant et pas trop détaillé sur les aspects principaux de l'appareil digestif par le Professeur W. J. Hamilton, qui maintient l'équilibre moderne entre l'anatomie macro- et microscopique. Il semble impossible, toutefois, à un anatomiste de traiter du péritoine autrement que de la façon décousue habituelle, de sorte qu'on a l'impression d'être au centre d'un labyrinthe sans issue. Il n'y a pas de traitement systématique de l'embryologie, mais chaque section y contient un bref exposé des progrès qui s'y rapportent.

L'œuvre est abondamment illustrée de 796 dessins en demi-teintes dont plusieurs en couleurs, de radiographies et de microphotographies, excellentes pour la plupart.

En dépit des allégements cités, le manuel reste volumineux avec ses 1000 pages. L'étudiant en médecine le trouvera certainement intéressant et profitable comme ouvrage d'étude et non seulement comme supplément de ses manuels de dissection et autres aide-mémoire. G. M. WYBURN

BLICKE, F. F. et COX, R. H., publié par: *Medicinal Chemistry*, Vol. III. Pp. VI + 346. John Wiley & Sons Inc., New-York; Chapman and Hall Ltd., Londres. 1956. 84s.

Ce volume est le troisième d'une série destinée à offrir des résumés de propriétés biologiques des corps intéressant particulièrement les chimistes et pharmacologistes occupés surtout à la mise au point et à l'essai de remèdes nouveaux. Il traite de la méthadone et analgésiques voisins, des antiseptiques quaternaires à l'ammonium, des diurétiques non-mercuriels et des analogues de l'ésérine. Ces chapitres n'insistent pas autant sur la constitution chimique et l'action physiologique des corps que sur les méthodes de mesure de leur activité et la corrélation entre constitution et activité. Près des deux-tiers de l'ouvrage sont occupés par des tables donnant les rapports entre ces dernières. C'est là le trait essentiel du livre, qui le rendra utile à ceux qui recherchent activement de nouveaux agents thérapeutiques. On regrette que la plupart des travaux examinés et classés soient antérieurs à 1953. J. R. P. O'BRIEN

CHIMIE INDUSTRIELLE

FERRI, Cesare: *Guida dei principali prodotti chimici*, Vol. I. Pp. XVI + 737. Nicola Zanichelli, Bologne. 1955. 6000 lires.

Le vaste programme indiqué par le titre est réalisé au moyen d'une classification alphabétique selon l'usage. Sous l'en-tête Additifs de l'essence, le plomb tétraéthylé reçoit mention spéciale, mais les stabilisants et les anticorrosifs ne sont pas oubliés. Les additifs des lubrifiants et les auxiliaires dans l'industrie du papier et des textiles sont passés en revue et il y a une section utile sur les combustibles à moteurs. Les catalystes sont disposés en tableaux et certains sont indiqués pour différents processus, les catalystes de polymérisation étant étudiés séparément. Les céramiques sont exposées en un court tableau. La revue des colorants modernes occupe 28 pages. Les combustibles de toutes sortes sont décrits. Les détersifs, explosifs, fibres synthétiques, produits photographiques et pigments ont été traités par d'autres auteurs. Pas moins de 159 pages sont consacrées aux produits pharmaceutiques, deux auteurs s'étant partagé la tâche. L'ensemble du sujet est bien passé en revue et des formules sont indiquées pour la plupart des antibiotiques, vitamines, hormones et antihistaminiques importants.

Les lubrifiants de tous genres sont présentés et leurs caractéristiques physiques sont bien résumées. Les plastiques sont présentés au moyen d'une table généalogique.

Il y a naturellement beaucoup d'inégalités parmi les travaux des collaborateurs individuels, mais cela est préférable à la monotonie qui aurait résulté d'une unité plus poussée. Dans l'ensemble, c'est une œuvre de valeur.

E. E. TURNER

WARTH, A. H.: *The Chemistry and Technology of Waxes* (2e édition). Pp. VII + 940. Reinhold Publishing Corporation, New-York; Chapman and Hall Ltd., Londres. 1956. 144s.

Cette édition a plus de 900 pages et décrit très à fond les cires «naturelles» (animales et végétales), les cires fossiles et à base de lignite et de pétrole ainsi que les cires «synthétiques» et composées de nombreuses espèces. Le chapitre liminaire traite de leurs constituants chimiques (ester-cires naturelles presque exclusivement) et les deux derniers traitent des méthodes d'analyse et de la technologie des cires et de leurs divers emplois dans l'industrie. Les produits classés techniquement comme cires sont naturellement très nombreux et, sous certains aspects, mal définis; il est donc important qu'un ouvrage de ce genre soit aussi clair et explicite que possible. Malheureusement, le traitement est diffus à beaucoup d'égards, ce qui nuit à une œuvre par ailleurs complète et détaillée sur un grand nombre de corps naturels et artificiels doués de propriétés «cireuses», qu'ils soient utilisés ou non dans l'industrie.

On trouve, de plus, dans le texte des compte rendus récents et anciens sur les cires, parfois contradictoires, que l'auteur ne s'est pas donné la peine de vérifier. De même, le chapitre sur les constituants chimiques renferme des confusions, des inexactitudes et beaucoup de faits superflus.

Malgré ces défauts — d'autant plus regrettables dans un domaine à la fois complexe et mal défini — le livre fait un apport de valeur à un aspect de la technologie qui manque encore de manuels compétents. T. P. HILDITCH

BEAUX-ARTS

PLENDERLEITH, H. J.: *The Conservation of Antiquities and Works of Art*. Pp. IX + 373. Oxford University Press, Londres. 1956. 63s.

Voici un livre que l'on attendait depuis vingt ans. L'expérience de l'auteur est probablement unique au monde

et l'ouvrage devient d'emblée un manuel type et un classique. Il s'adresse au collecteur, à l'archéologue, au conservateur de musée et au technicien de la conservation des œuvres d'art. L'un des mérites les plus frappants est la profondeur avec laquelle est traité chaque aspect de ce sujet extrêmement complexe, de sorte que tous le trouveront absorbant et instructif, quels que soient leurs goûts ou leur spécialité.

Le contenu du volume fait impression surtout de deux façons. Tout d'abord, par la splendeur des trésors d'art maniés par le Dr Plenderleith et ses collaborateurs au Laboratoire du *British Museum* et par la variété et la complexité des problèmes qu'ils présentent. On envie cette bonne fortune, tout en appréciant la responsabilité encourue et la compétence des savants. Deuxièmement, il est agréable de voir les agents séparateurs les plus spécifiques dédaignés pour une simple allumette ou une cuillère.

Ce genre de travaux entraîne l'emploi de méthodes électriques, chimiques et mécaniques et on obtient les meilleurs résultats par la combinaison judicieuse des trois. Il en découle presque inévitablement que chaque problème demande une attention hautement individuelle. Un avertissement: l'aise trompeuse de la description et la clarté des nombreux tableaux et plans de traitement pourront masquer l'insistance, peut-être trop contenue, de l'auteur sur le besoin d'habileté et d'expérience.

Le livre est écrit avec soin, goût et sagesse; il nous laisse avec tout juste ce qu'il faut de curiosité non satisfaite et de respect. Il fera beaucoup pour donner à la conservation des œuvres d'art le rang de branche des sciences appliquées.

L. BIEK

BIOGRAPHIE

DOUGLAS, A. Vibert: *The Life of Arthur Stanley Eddington*. Pp. XI + 207. Thomas Nelson & Sons Ltd., Londres. 1956. 25s.

Arthur Stanley Eddington fut essentiellement un penseur et non un homme d'action. La tâche du Dr Vibert Douglas est d'autant plus méritoire qu'il est plus difficile d'écrire la biographie d'un homme ayant passé la majeure partie de sa vie dans un bureau plutôt que dans le monde actif. Son compte rendu de la vie, des travaux scientifiques et de la philosophie du personnage calme, réservé et modeste que fut Eddington est excellent.

L'exposé du développement des travaux du savant sur les mouvements, la constitution et la physique stellaire, sans oublier la relativité et la théorie fondamentale, est remarquable. Eddington fut le premier Britannique à estimer l'importance et la signification de la relativité générale et sa présentation de la théorie fit beaucoup pour sa diffusion. Il faut mentionner qu'il dirigea l'une des deux expéditions britanniques qui, en 1919, vérifièrent pour la première fois la déflexion prédite des rayons lumineux dans un champ de gravitation. Eddington possédait une intuition remarquable en physique et le génie des mathématiques ainsi qu'un sens réel des problèmes de l'astronomie d'observation.

Par ses travaux sur la constitution stellaire, la formation interne des étoiles et la nature de la matière interstellaire, Eddington fut le pionnier d'une branche maintenant importante de l'astronomie moderne. Les réunions de la *Royal Astronomical Society*, où furent apportés ces résultats, furent pleines d'intérêt et sont décrites de façon très vivante.

Eddington exerça une influence considérable sur la pensée de son temps par son interprétation, au moyen de conférences et d'articles, des idées nouvelles qui révolutionnaient la conception humaine de l'univers. Miss Douglas fait un compte rendu excellent de l'évolution de sa philosophie.

H. SPENCER JONES

HISTOIRE DE LA SCIENCE

NEEDHAM, Joseph: *Science and Civilisation in China*, Vol. II, *History of Scientific Thought*. Pp. XXII + 696. Cambridge University Press, Londres. 1956. 80s.

L'époque de l'encyclopédisme est révolue, mais les esprits laborieux et encyclopédiques existent toujours, comme le prouve la bibliographie de ce volume, qui essaie de passer en revue les philosophies chinoises et d'évaluer leur influence sur l'évolution de la science et de la technologie de ce pays.

Ce n'est que récemment, toutefois, que des spécialistes de formation moderne se sont mis à l'étude des philosophies de la Chine. La première histoire véritablement satisfaisante de la pensée chinoise, celle de Feng Yu-lan, ne parut qu'en 1934 et sa traduction anglaise complète en 1953. Le chinois classique, par ailleurs, est une langue si concise qu'il faut comprendre sa philosophie avant de le traduire!

Certaines des thèses de l'auteur rencontreront forte opposition. Il est douteux que Wang Chhung (pp. 368–86) fut «un des plus grands hommes de son pays de tous temps». Il offrit simplement une version aisée et en partie superstitieuse du naturalisme poussé qu'il emprunta à Hsün Tzu, par l'intermédiaire de son maître Pan Piao, père du grand historien.

Il reste naturellement beaucoup à mettre au point dans ce livre, mais il contient de très bonnes études. La comparaison des échelles d'âmes grecque et chinoise est intéressante. On trouve aussi un très bon exposé du Taôisme, qui fait remarquer la relation et l'absence de relation entre ce culte et la science chinoise. La partie la plus satisfaisante du livre est l'examen de la loi naturelle.

L'ouvrage représente un essai de synthèse extrêmement louable, mais les travaux de base sont encore à faire.

HOMER H. DUBS

Réaumur's Memoirs on Steel and Iron. Traduit par Anneliese Grünhaldt Sisco. Pp. XXXIV + 396. The University of Chicago Press, Chicago; Cambridge University Press, Londres. 1956. 45s.

La traduction des célèbres essais de Réaumur sur le fer et l'acier (1722) a une valeur spéciale, car c'est leur première traduction complète en anglais. Elle est précédée d'une introduction du Professeur C. S. Smith sur la signification de l'œuvre de Réaumur et l'état de la science métallurgique du temps. R.A.F. de Réaumur (1683–1757), connu surtout de nos jours pour son échelle thermométrique, s'intéressait à toutes les branches de la science pure et appliquée. Son intérêt pour le fer et l'acier débuta vers 1716 et aboutit au traité en question, publié en 1722, et à quelques autres mémoires métallurgiques présentés à l'Académie des Sciences les quatre années suivantes, après quoi il ne fit plus rien paraître sur les métaux.

Dans cette courte période, il fit des apports très importants à la technologie industrielle. Dans ses études de la granulation de l'acier cémenté, Réaumur devança de nombreux travaux américains modernes sur la granulation de l'austénite. Une de ses inventions principales fut une méthode rendant la fonte malléable, mais le procédé avait peut-être été déjà découvert et breveté en 1671 par l'ingénieux prince Ruprecht von der Pfalz, petit-fils de Jacques Ier d'Angleterre par sa mère. L'invention du prince et celle de Réaumur furent bientôt oubliées, mais on les redécouvrit toutes les deux en Angleterre peu après 1800.

H. R. SCHUBERT

Brèves notices bibliographiques

(Ces notices sont plus descriptives que critiques et sont destinées à donner une indication générale de la nature et de la portée des ouvrages.)

SHAMOS, M. H. et MURPHY, G. M., publié par: *Recent Advances in Science: Physics and Applied Mathematics*. Pp. XI + 384. New York University Press, New-York; Interscience Publishers, New-York et Londres. 1956. $7,50.

Collection de rapports, œuvre de douze savants américains distingués, sur les progrès réalisés récemment dans leurs domaines respectifs de la physique et des mathématiques appliquées. C'est un des résultats de la première Conférence sur les Progrès scientifiques récents, tenue à *New York University* au début de 1954. Le livre demande une certaine connaissance scientifique générale, mais pas de spécialisation particulière.

POTTER, E. C.: *Electrochemistry: Principals and Applications*. Pp. XII + 418. Cleaver-Hume Press Ltd., Londres. 1956. 50s.

Manuel complet à l'usage de l'étudiant et du spécialiste d'électrochimie, insistant sur les principes et leurs rapports avec les applications générales. Une connaissance des mathématiques et de la chimie d'un niveau équivalent à celui de la première année d'université est nécessaire. Il y a des exemples numériques pour illustrer quelques-uns des concepts théoriques et une courte bibliographie.

PYKE, Magnus: *Automation: its Purpose and Future*. Pp. 191. Hutchinson's Scientific and Technical Publications, Londres. 1956. 16s.

Les opinions varient sur la rapidité et l'étendue du développement futur de l'automatisation dans l'industrie, mais il n'y a aucun doute que son introduction aura des conséquences d'une portée incalculable. Ce livre s'adresse surtout au non-spécialiste et a pour objet de décrire les résultats déjà obtenus grâce à l'automatisation et ses applications possibles dans un avenir prochain. Les conséquences sociales, qui joueront certainement un rôle important dans la détermination de la nature de ces applications, sont envisagées.

WOOLDRIDGE, S. W.: *The Geographer as Scientist*. Pp. XII + 299. Thomas Nelson & Sons Ltd., Londres. 1956. 35s.

Recueil de quelque seize conférences et articles du Professeur Wooldridge, composés durant ses vingt-cinq années d'enseignement actif et de recherches. Ils ont été soigneusement choisis pour illustrer les opinions de l'auteur sur les questions fondamentales ayant trait à la nature et à la portée de la géographie.

DUDDINGTON, C. L.: *The Friendly Fungi*. Pp. 188. Faber and Faber, Londres. 1957. 21s.

Ce livre, destiné surtout au lecteur courant, représente un nouveau point de vue sur le problème de l'anguillule, l'une des menaces les plus sérieuses de l'agriculture. Il décrit certains champignons de culture aisée qui attaquent l'anguillule et les tentatives d'emploi de ceux-ci dans les champs.

ROFF, W. J.: *Fibres, Plastics and Rubbers*. Pp. XVI + 400. Butterworths Scientific Publications, Londres; Academic Press Inc., New-York. 1956. 63s.

Ouvrage de référence bien documenté destiné à aider la recherche et le développement industriels. Il offre sous une forme d'accès facile une documentation très vaste sur les propriétés physiques, chimiques et générales de tous les hauts polymères courants, naturels et synthétiques. Un bref historique des polymères termine le volume.

HOLMSTROM, J. Edwin: *Records and Research in Engineering and Industrial Science* (3e édition, refaite et augmentée). Pp. XII + 491. Chapman and Hall Ltd., Londres. 1956. 60s.

Le nombre toujours croissant des publications technologiques et leur variété augmentent de plus en plus la difficulté de trouver des renseignements déjà parus. Ce volume, œuvre du fonctionnaire de l'UNESCO chargé des questions de documentation et de terminologie scientifiques, est un guide détaillé des sources et de l'enregistrement de renseignements techniques de tous genres.

DESTRY, D. H. et HARBOURN, C. L. A., publié par: *Vapour Phase Chromatography*. Pp. XV + 436. Butterworths Scientific Publications, Londres; Academic Press Inc., New-York. 1957. 70s.

Le livre renferme les articles présentés à une conférence sur la chromatographie organisée par l'*Institute of Petroleum* en mai 1956. On y trouve la critique de la nomenclature et les recommandations faites à ce sujet.

PASCAL, Paul, publié par: *Nouveau traité de chimie minérale*. Vol. X: *Azote-phosphore*. Pp. XXXIX + 963. Masson et Cie, Paris. 1956. Broché, 6600 frs; relié, 7500 frs.

Ce volume X est le second à paraître de la série qui doit en compter dix-neuf sur l'ensemble de la chimie minérale et qui est publiée sous la direction distinguée du Professeur Paul Pascal. Deux-tiers environ de l'ouvrage sont consacrés à l'azote — par le Professeur Pascal lui-même — et le reste au phosphore, par le Professeur René Dubrisay. Comme le faisait prévoir le premier volume, l'étude est très poussée; il y a une masse d'information et une bibliographie très développée. Il est évident que l'œuvre complète formera un des grands ouvrages de référence chimique.

Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society, Vol. II. Pp. 345. The Royal Society, Londres. 1956. 30s.

Ce volume est le second de la nouvelle série de notices nécrologiques sur les membres disparus de la *Royal Society*. Suivant le plan du précédent, il contient les biographies bien documentées de 22 membres décédés en 1955–56. Chaque notice donne de nombreux détails privés et fait l'examen critique de l'œuvre scientifique du savant sans oublier la liste complète de ses travaux.

MUNITZ, M. K., publié par: *Theories of the Universe*. Pp. X + 437. The Free Press, Glencoe, Illinois. 1957. $6,50.

L'éditeur du volume a essayé de présenter une histoire de la cosmologie au lecteur courant en choisissant parmi les auteurs non-techniques ceux qui jouèrent un rôle de premier plan dans le développement du sujet. La période traitée est immense, allant d'Aristote, Platon et autres philosophes de l'antiquité classique à Einstein, Hubble et autres cosmologistes de notre temps.

Notes biographiques sur les collaborateurs

H. A. KREBS,
M.A., M.D., F.R.S.,

Naquit en 1900 à Hildesheim, Allemagne, et étudia la médecine aux Universités de Gœttingue, Fribourg-en-Brisgau, Munich et Berlin. Il travailla ensuite sous la direction du Professeur Otto Warburg à Berlin et du Professeur S. J. Thannhauser à la Clinique médicale de Fribourg. Il arriva en Grande-Bretagne en 1933 comme réfugié et entra à la *School of Chemistry* de Sir Frederick Gowland Hopkins à Cambridge. De 1935 à 1954, il enseigna à l'Université de Sheffield, tout d'abord comme maître de conférences de pharmacologie, puis comme maître de conférences et professeur de biochimie. En 1953, il fut lauréat ex-aequo du Prix Nobel de médecine. Il occupe depuis 1954 la chaire Whitley de biochimie à l'Université d'Oxford. Ses travaux ont porté surtout sur la biochimie du métabolisme.

D. McKIE,
Ph.D., D.Sc.,

Naquit dans le Monmouthshire en 1896. Il entra à *University College*, Londres, en 1920 et obtint ses diplômes de chimie. Est actuellement chargé de cours d'Histoire de la science à l'Université de Londres. A beaucoup écrit sur l'histoire de la chimie, dont un ouvrage important sur la vie et l'œuvre de Lavoisier.

M. W. H. BISHOP,
M.A., Ph.D., Dip. Agric. Sci.,

Né en 1923, étudia à *St Catharine's College*, Cambridge. Il passa trois ans à l'*Iron and Steel Institute* et à la *British Iron and Steel Research Association*, étudiant les moyens d'empêcher l'encrassement et la corrosion des coques de navires. En 1947, il revint à Cambridge et en 1949, entra à la Section d'Etude de la reproduction animale de l'*Agricultural Research Council* où il se mit pour la première fois à l'étude de la physiologie des spermatozoaires et de la fertilisation des mammifères. En 1955, il entra à la Section de Biologie expérimentale du *National Institute for Medical Research.*

C. R. AUSTIN,
D.Sc., B.V.Sc.,

Naquit en 1914 à Sydney, Australie et étudia à l'Université de la ville. Il fit partie du personnel de recherches du *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation* en Australie de 1938 à 1954, étudiant spécialement la toxémie de la gestation du mouton au point de vue biochimique, la mise au point de rations militaires convenant aux opérations spéciales et aux cas imprévus, ainsi que l'endocrinologie de la reproduction chez le mouton. Il fait partie du personnel de recherches du *Medical Research Council* depuis 1954, s'occupant normalement de recherches sur la fertilisation et phénomènes associés chez les mammifères. Il est secrétaire de la *Society for Endocrinology* depuis 1956.

L. F. BATES,
B.Sc., Ph.D., D.Sc., F.R.S.,

Naquit à Bristol en 1897 et étudia à l'Université de la ville. De 1920 à 1924, il fit des recherches à Bristol et au Laboratoire Cavendish à Cambridge. Il devint ensuite membre du personnel enseignant de *University College* à Londres et fut chargé de cours de physique en 1930. En 1936, il fut nommé à la chaire Lancashire-Spencer de physique à Nottingham, où il est recteur suppléant de l'Université. Son école de recherches à Nottingham est bien connue pour ses apports au magnétisme expérimental. Il a été président de l'Association des Professeurs d'Université (1938–39) et de la *Physical Society* (1950–52). Son livre *Modern Magnetism* et son livre, publié par le British Council, sur *Sir Alfred Ewing* sont bien connus.

P. W. BRIAN,
Ph.D., Sc.D.,

Naquit à Birmingham en 1910 et étudia à *King's College*, Cambridge. Il travailla au Centre de recherches de Long Ashton de 1934 à 1936, puis entra aux Imperial Chemical Industries comme mycologue du Centre de recherches de Jealott's Hill. Il dirige depuis 1946 la section de Microbiologie des Laboratoires de recherches Akers. Il a écrit de nombreux articles sur l'activité biologique des produits métaboliques des champignons.

JOHN FREDERICK GROVE,
B.Sc.,

Né à Sheffield en 1921. Etudia à *King's College*, Université de Londres. En 1941 entra aux Imperial Chemical Industries comme chimiste de recherches et fut nommé directeur de la section de Chimie organique des Laboratoires Akers en 1950. Ses publications portent surtout sur les insecticides, la chimie des produits de moisissure et l'application de méthodes physiques à l'étude des problèmes de structure en chimie organique.